

DOCKET NO.: 265682US2XPCT

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Christophe BUREAU, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR03/50036

INTERNATIONAL FILING DATE: August 25, 2003

FOR: MICROSTRUCTURE WITH SURFACE FUNCTIONALISED BY LOCALISED DEPOSITION OF A THIN LAYER AND ASSOCIATED MANUFACTURING METHOD

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119  
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

Commissioner for Patents  
Alexandria, Virginia 22313

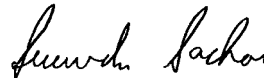
Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO</u>	<u>DAY/MONTH/YEAR</u>
France	02 10571	26 August 2002

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/FR03/50036. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,  
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.



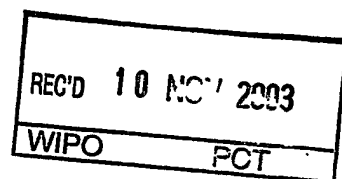
---

Marvin J. Spivak  
Attorney of Record  
Registration No. 24,913  
Surinder Sachar  
Registration No. 34,423

Customer Number

**22850**

(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 08/03)

REC'D PCT/PTO 14 FEB 2005  
PCT/EP 03/50036 #2

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 SEP. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr

DES I AVAILABLE COPY



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété Intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>26 AOUT 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>26 AOUT 2002</b>		<b>1</b> NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  BREVATOME 3 rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS	
Vos références pour ce dossier (facultatif) B 14223.3 GB (BD 1453 /TRONIC'S)			
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2</b> NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date ____/____/____ N° _____ Date ____/____/____	
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale		<input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____	
<b>3</b> TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)  MICROSTRUCTURE A SURFACE FONCTIONNALISEE PAR DEPOT LOCALISE D'UNE COUCHE MINCE ET PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE			
<b>4</b> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5</b> DEMANDEUR		<input checked="" type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement public de caractère Scientifique, Technique et Industriel	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	31-33 rue de la Fédération	
	Code postal et ville	75752	PARIS 15ème
Pays		FRANCE	
Nationalité		FRANCAISE	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			

REMISE DES PIÈCES DATE <b>26 AOUT 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0210571</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		B 14223.3 GB (BD 1453 /TRONIC'S)	
<b>6 MANDATAIRE</b>			
Nom		POULIN	
Prénom		Gérard	
Cabinet ou Société		BREVATOME 422.5/S002	
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		7068 du 12.06.98	
Adresse	Rue	3 rue du Docteur Lancereaux	
	Code postal et ville	75008	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01.53.83.94.00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01.45.63.83.33	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		brevets.patents@brevaalex.com	
<b>7 INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		1	
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)  Gérard POULIN 422-5 S/002		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b>  C. TRAN	

REMISE DES PIÈCES DATE <b>26 AOÛT 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0210571</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire DB 829 W / 260899	
<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b> <b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> <b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b> <b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b> <b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		<b>B 14223.3 GB (BD 1453)</b> Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N°	
<b>5 DEMANDEUR</b> Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF		<b>TRONIC'S MICROSYSTEMS</b> 15 rue des Martyrs 38054 GRENOBLE FRANCE FRANCAISE N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) Adresse électronique (facultatif)	
<b>5 DEMANDEUR</b> Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF		Rue Code postal et ville Pays Nationalité N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) Adresse électronique (facultatif)	
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) <b>Gérard POULIN</b>		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE</b> <b>OU DE L'INPI</b> <b>C. TRAN</b>	

MICROSTRUCTURE A SURFACE FONCTIONNALISEE PAR DEPOT  
LOCALISE D'UNE COUCHE MINCE ET PROCEDE DE FABRICATION  
ASSOCIE

5

## DESCRIPTION

## DOMAINE TECHNIQUE

L'invention se situe dans le domaine des microcomposants comportant une microstructure électromécanique réalisée par micro-usinage et une  
10 fonctionnalisation apportée par une couche organique réalisée en surface. L'invention se situe en particulier dans le domaine des capteurs.

## ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

15

La présente invention s'applique aux microstructures électromécaniques, réalisées par micro-usinage selon les techniques MEMS (MicroElectroMechanical Systems) connues basées sur l'utilisation de masques successifs pour effectuer des  
20 opérations localisées de micro-usinage chimique ou mécanique. Ces microstructures, lorsqu'elles comportent un élément mécanique se déformant de manière élastique sous l'effet d'une force, associé à des moyens de mesure du déplacement, peuvent par exemple servir de  
25 capteur de force : capteur de pression, capteur d'accélération, capteur de contact, jauge de contrainte, ... .

L'utilisation en particulier de structures micro-usinées sur silicium mono-cristallin permet  
30 d'obtenir des éléments ayant de très hautes performances mécaniques (absence d'hystérésis, réponse

purement élastique sans déformation plastique) pour des encombrements très réduits (de l'ordre du millimètre).

Il est souvent nécessaire d'apporter des fonctions supplémentaires à ces structures à partir de  
5 couches minces déposées de manière locale en surface.

A titre d'illustration, les microstructures électromécaniques fabriquées par micro-usinage de silicium sont utilisées pour des capteurs de pression miniatures pouvant être utilisés in vivo dans le  
10 domaine médical, en particulier lorsqu'elles sont intégrées au sein de microsystèmes (composant intégrant des fonctions de mesure, de traitement du signal et de communication). Les techniques classiques d'encapsulation des capteurs de pression, comme par  
15 exemple l'encapsulation à l'intérieur d'une cellule étanche déformable remplies d'un bain d'huile, ne sont pas adaptées à ces microstructures quand la taille finale du composant est un paramètre critique. Les capteurs de pression peuvent être utilisés, comme les  
20 capteurs chimiques, avec la partie sensible du capteur - une membrane - en contact direct avec le milieu à caractériser.

Il peut donc être nécessaire de fonctionnaliser cette partie du capteur pour lui conférer des  
25 propriétés particulières vis-à-vis de son environnement.

Ceci est un exemple d'une fonction particulière qui peut être ajoutée à une microstructure électromécanique à partir de dépôts localisés en couche  
30 mince. De manière plus générale mais non exhaustive, les fonctionnalisations suivantes peuvent être apportées à ce type de composants. On peut citer :

- la protection d'une zone en contact avec l'extérieur vis à vis de son environnement,
- la modification des propriétés chimiques d'une zone en contact avec l'extérieur pour la rendre compatible avec son environnement (biocompatibilité, lubrification pour faciliter la mise en place, absence de dégradation ...),
- la préparation de l'assemblage mécanique du composant (assemblage de puces entre elles, assemblage de puces sur substrats),
- la préparation de l'interconnexion électrique avec un autre composant (contact électrique entre puces, contact électrique entre puces et substrats).

#### 15 Problème général de pré-conditionnement

L'objectif de l'étape de pré-conditionnement est de manière générale d'obtenir une fonctionnalisation de la surface des microstructures permettant de faciliter les étapes suivantes de conditionnement. Lorsque cette étape est collective, elle permet de diminuer le coût final du composant. La qualité d'un procédé de pré-conditionnement se juge, au delà de son coût, par la simplification qu'il permet des étapes suivantes de conditionnement.

Il existe aujourd'hui différentes méthodes connues de pré-conditionnement permettant d'apporter différentes fonctions à ce type de microstructures ou composants, en particulier lorsqu'ils sont appelés à être assemblés de manière compacte au sein d'un micro-système.



## Fonctionnalisation de la membrane

Pour apporter des propriétés particulières à l'élément sensible d'une microstructure électromécanique à partir du dépôt d'une couche mince, on connaît la fonctionnalisation de la membrane d'un capteur à partir d'une couche mince réalisée en phase liquide par trempage ou par centrifugation. Ces techniques peuvent par exemple être utilisées pour le dépôt de silicones (de type PDMS par exemple) pour des capteurs de pression utilisés in vivo pour des applications médicales [Development of a completely encapsulated intraocular pressure sensor, Walter P. et al, Ophthalmic Research (2000), 32, p 278-284].

On connaît également le dépôt en phase vapeur par plasma (CVD) d'une couche d'un polymère. On sait par exemple déposer par cette technique un polymère particulier, le parylène, connu pour ses propriétés de biocompatibilité [Microfluidic plastic capillaries on silicon substrates : a new inexpensive technology for bioanalysis chips, P. F. Man et al, présenté à la conférence MEMS 1997, Jan. 26-30 1997, Nagoya, Japan].

Ces techniques sont difficilement compatibles avec un cahier des charges imposé à la microstructure, en particulier lorsque celle-ci est utilisée pour réaliser un capteur de haute précision devant être utilisé sur de longues périodes sans calibration.

Ces techniques rendent difficiles le contrôle précis de l'épaisseur réalisée et de l'homogénéité du dépôt pour de faibles épaisseurs. De plus, la liaison entre la couche et la surface à fonctionnaliser n'étant pas une liaison covalente, les qualités fonctionnelles de la couche ne sont garanties que pour des épaisseurs

significatives. En conséquence il est difficile de garantir à partir de ces techniques connues une couche fonctionnelle ne changeant pas les performances mécaniques de la microstructure, en particulier si  
5 l'élément mécanique est réalisé en silicium monocristallin ayant des épaisseurs inférieures à la dizaine de microns.

Par exemple, les couches réalisées par dépôt d'un film parylène par plasma sont reconnues comme  
10 uniformes, sans perforations, avec une faible perméabilité à la moisissure et de bonnes propriétés diélectriques pour des épaisseurs supérieures à 10 microns et il est difficile de contrôler une épaisseur à mieux que quelques microns. Pour des structures dont  
15 la membrane est d'une épaisseur typique de quelques microns, un film d'épaisseur supérieure à 5  $\mu\text{m}$  divise la sensibilité du capteur d'un facteur supérieur à 2. Il est de plus reconnu que l'adhérence des films parylène est de qualité médiocre.

20 Les couches réalisées par dépôt de silicones sont excellentes pour une protection à court terme mais se dégradent rapidement dans le temps. Le problème des bulles d'air qui sont piégées dans la couche est à l'origine de défauts d'adhérence qui se propagent dans  
25 le temps.

Il est à noter qu'il est également difficile d'utiliser ces techniques pour réaliser des dépôts sélectifs de manière collective sans recourir à la mise en place de masques mécaniques complexes et coûteux.

30 On connaît pour répondre aux problèmes d'adhérence des couches et d'efficacité à faible épaisseur, des techniques de laboratoire reposant sur

la fonctionnalisation d'une surface à partir de liaisons covalentes : monocouches auto-assemblées par trempage ou par impression par micro-contact [Delamarche E., Michel B., Gerber Ch., Langmuir (1994), 5 10, p 2869 et Kumar A., Whitesides G.M., Applied Physics Letters (2002), 63, p 1993]. Ces techniques sont restreintes à quelques couples matériau de la couche - matériau de la surface (même s'ils peuvent parfois servir de primaire pour l'accrochage d'autres 10 matériaux moléculaires) comme par exemple des thiols sur de l'or, des silanes sur de la silice ou plus généralement des couches d'oxydes. Bien que connus, les problèmes liés à leur mise en œuvre font qu'ils sont peu utilisés industriellement.

15 De manière générale, les techniques existantes limitent le choix des propriétés des matériaux pouvant être utilisés et rendent difficile le dépôt sélectif et le contrôle de l'épaisseur.

## 20 Préparation de l'interconnexion électrique

Pour réaliser l'interconnexion électrique entre la microstructure et un substrat ou un autre composant, on connaît la technique de report de puces (technique dite de "flip-chip"). L'interconnexion électrique et 25 mécanique est effectuée au moyen de bossages de matériau fusible conducteur réalisés sur les plots de connexion de la microstructure et soudés par un traitement thermique aux plots de connexion du substrat de report disposé en regard.

30 Le pré-conditionnement connu associé à cette méthode de micro-packaging comporte la préparation des bossages à partir de différentes méthodes : collectives

par électrodéposition, évaporation, sérigraphie, ... ou individuelles par stamping, dispensing, ..., à partir de différents matériaux (matériau fusible avec ou sans plomb, polymère fusible, ...).

5 Les techniques connues sont satisfaisantes sur l'aspect d'épaisseur de la couche qui n'est pas critique pour cette fonctionnalisation mais la liaison mécanique assurée par le bossage doit être fiabilisée lors du conditionnement dans la plupart des applications car les différentes méthodes de dépôt  
10 utilisées n'assurent pas une bonne liaison mécanique entre le substrat et le bossage. De plus ces techniques mises au point pour les composants électroniques sont moins bien adaptées aux microstructures quand leur plot  
15 de contact est de taille inférieure à la centaine de microns.

La fiabilité de l'interconnexion mécanique peut être améliorée par application d'un matériau de remplissage diélectrique, ou "underfill", entre la puce  
20 et le substrat qui permet d'encaisser la différence de coefficients de dilatation thermique de la puce et du substrat.

Cette méthode utilise une étape supplémentaire après le pré-conditionnement intervenant après le  
25 report donc non collective et est difficile à mettre en œuvre pour des microstructures de faible taille et possédant sur la même face des plots de connexion et une surface sensible (capteur).

Il existe pour répondre à ce problème, par  
30 exemple (WO 0057467), des solutions qui permettent d'appliquer lors du pré-conditionnement le matériau de remplissage sur toute la surface d'une plaquette de

---

puces avant sa dissociation en réalisant une enduction sélective d'un matériau adhésif excluant les zones des plots de contact de chaque puce. L'enduction sélective peut être réalisée, avant ou après formation de bossages sur les plots de contact, par sérigraphie ou par jet de matière. L'étape délicate de remplissage par capillarité de l'interstice situé entre la puce et le substrat de façon individuelle après le report de la puce est ainsi évitée.

Il existe également (US6137183), des solutions de pré-conditionnement consistant à appliquer sur toute la surface d'une plaquette de puces avant leur dissociation une colle conductrice anisotrope, en film ou en pâte. De cette façon, on réalise les interconnexions électriques et mécaniques en une unique étape.

Les méthodes décrites ci-dessus permettent uniquement de préparer les composants aux étapes d'assemblage mécanique et électrique. Elles doivent donc être associées à une méthode différente pour réaliser les opérations de protection ou de fonctionnalisation des parties mécaniques.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

Il existe donc un besoin pour des microstructures comportant en surface des fonctionnalisations réalisées à partir d'un dépôt local de matériau en couche mince. Ces microstructures étant réalisées de manière collective sur une plaquette, il existe un besoin pour des plaquettes adaptées au traitement collectif de ces composants.

La présente invention concerne une microstructure électro-mécanique réalisée en général,

de façon collective, par micro-usinage sur laquelle sont ajoutées une ou plusieurs fonctions apportées par le dépôt localisé d'une couche mince. La couche mince déposée présente de bonnes qualités d'adhérence à la surface de dépôt, la liaison étant une liaison covalente. Les épaisseurs de matière apportée et leur homogénéité sont bien contrôlées. Il devient ainsi possible de garantir une bonne reproductibilité et des performances stables dans le temps. Contrairement à l'art antérieur, tous les avantages apportés sont apportés simultanément sans que l'un soit obtenu au détriment de l'autre.

La présente invention concerne également une plaquette permettant la fonctionnalisation collective de microstructures ou puces électromécaniques ou électroniques et de substrats avant les étapes de micropackaging, packaging ou assemblage effectuées lors du conditionnement. On entend par puce un élément miniaturisé fabriqué de façon collective (par lot) par exemple avec les technologies connues de l'électronique et/ou de la micro électronique.

La plaquette permet de manière plus générale la fonctionnalisation collective de composants électroniques ou électro-mécaniques à partir d'une technique de dépôt localisé d'une couche mince. Les plaquettes selon l'invention sont particulièrement adaptées au pré-conditionnement collectif de composants avant leur assemblage au sein de microsystèmes.

La plaquette décrite ici, permet de pré-conditionner une puce de façon collective (donc à faible coût unitaire), dans un encombrement extrêmement réduit (sensiblement de la taille du motif la puce). Il

permet d'apporter de multiples fonctionnalités à la puce par l'utilisation d'une technique générique permettant de faciliter globalement les problèmes d'encapsulation et d'interconnexion. Elle n'impose pas  
5 de restriction sur la taille des composants et des surfaces à traiter. Le pré conditionnement des puces ou microstructures de la plaquette dégrade de façon négligeable les performances de chaque puce ou microstructure par rapport à leurs performances avant  
10 pré-conditionnement.

L'invention a pour but de proposer une microstructure électromécanique de haute précision à déformation élastique comportant des fonctions apportées par dépôt électrochimique localisé d'une  
15 couche mince organique en surface de la partie élastique. L'utilisation de couches organiques peut potentiellement fournir un choix important de fonctions issues de la chimie organique.

Un but de l'invention est également de proposer  
20 une telle microstructure qui peut comporter différentes fonctions apportées par des films organiques, y compris hors de la partie élastique sans dégradation sensible des qualités intrinsèques du composant.

L'invention a finalement pour but de proposer  
25 un microcomposant réalisé à partir d'une microstructure assemblée sur un support.

Pour atteindre ces buts, l'invention a plus précisément pour objet une microstructure électromécanique comprenant une première partie appelée  
30 partie mécanique réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité, et qui comprend d'une part une zone déformable de manière élastique ayant une

valeur d'épaisseur et une surface exposée, et d'autre part un premier film organique ayant une épaisseur, présent sur l'ensemble de la surface exposée de la dite zone déformable, caractérisé en ce que l'épaisseur du premier film est telle que la réponse élastique de la zone déformable munie du premier film ne change pas de plus de 5% par rapport à la réponse de la zone déformable nue ou en ce que l'épaisseur du premier film est inférieure à dix fois l'épaisseur de la zone déformable.

Une épaisseur du premier film peut être choisie pour ne pas modifier la réponse élastique de la zone déformable munie du premier film ou pour ne pas modifier la stabilité dans le temps de la réponse élastique de la zone déformable munie du premier film. Ce choix doit tenir compte de la qualité souhaitée pour la zone déformable munie du premier film, de l'effet mécanique du film et des fluctuations dans le temps qui lui sont associées. Cela conduit à limiter la modification provenant du film à des valeurs inférieures respectivement à 1% ou 5%.

Ces conditions peuvent également se traduire en terme d'épaisseur du film qui ne doit pas dépasser dix fois l'épaisseur de la zone déformable élastique en premier matériau pour les films les plus souples à deux fois pour les films d'élasticité intermédiaire.

Le film organique est lié de manière covalente à la surface de la zone déformable pour obtenir une forte adhésion et garantir sa fonctionnalité dès les faibles épaisseurs.

Le film organique est préférentiellement réalisé à partir d'une réaction chimique électro-



initiiée permettant l'électro-greffage de monomères sur la surface conductrice, initiant l'accrochage ou la croissance d'une molécule organique isolante de longueur donnée. Cette technique permet de garantir à la fois la localisation spatiale du film et de contrôler son épaisseur. Les films sont préférentiellement réalisées avec un taux de couverture élevé rendant les couches homogènes et denses.

Ce premier film peut apporter simultanément différents types de fonctions à la surface de la zone déformable, comme une protection chimique de la surface ou une fonctionnalisation garantissant différentes propriétés chimiques.

Dans une réalisation particulière, la microstructure comporte différents films organiques sur différentes parties, y compris sur des parties non élastiques. Ces films organiques peuvent combiner différentes propriétés, comme conducteur ou isolant, lubrifiant, adhésif - permettant de faciliter le conditionnement de la microstructure.

L'invention peut être appliquée à la réalisation d'un capteur comprenant une microstructure électromécanique micro-usinée sur semi-conducteur. Ce capteur peut par exemple être un capteur de pression, un capteur tactile ou une jauge de contrainte.

L'apport de fonctions de non cyto-toxicité et d'anti-adhésion cellulaire à la surface de la zone déformable du capteur permet par exemple son utilisation dans le domaine biomédical.

La fonctionnalisation de la surface des contacts électriques avec un revêtement adhésif ou thermofusible permet un assemblage électrique et

mécanique de la microstructure électromécanique sur un support. La réalisation d'un joint d'étanchéité avec un revêtement biocompatible, adhésif ou thermofusible permet l'isolation d'une partie électrique par rapport  
5 à une partie mécanique de la microstructure.

L'invention a également pour objet la plaquette comportant un ensemble de microstructures réalisées, de préférence, par un procédé collectif, la plaquette permettant ainsi la fonctionnalisation simultanée d'un  
10 ensemble de plages identiques des microstructures. Ces plages identiques définissent une famille de plages à fonctionnaliser, une plaquette pouvant comporter différentes familles.

Dans un premier mode de réalisation, cette  
15 plaquette comporte une électrode commune différente pour chaque famille, cette électrode reliant électriquement toutes les plages appartenant à cette famille de plages.

Dans un second mode de réalisation, une même  
20 électrode commune est utilisée pour plusieurs familles, chaque famille étant de plus caractérisée par une surface conductrice nue (avant sa garniture) de nature chimique différente au sens de l'électro-greffage.

Dans un troisième mode de réalisation,  
25 l'électrode commune est connectée aux différentes plages d'une même famille via des impédances caractérisant une famille considérée. Ces impédances sont des diodes caractérisées par un seuil de conduction, un seuil de conduction nulle étant par  
30 convention attribué à un court-circuit. Une diode peut être utilisée pour relier l'électrode commune à une ou plusieurs plages.

---

Les diodes sont orientées de manière à permettre le passage du courant électrochimique lors de la réalisation de film organique sur les plages de la famille considérée. La diode est réalisée de manière à  
5 ce que son courant de fuite avant le seuil soit inférieur au courant électrochimique résiduel avant la formation de du film organique. Dans un mode de réalisation particulier, chaque plage d'une famille est associée soit à une unique diode, soit de façon  
10 biunivoque à une diode de chaque microstructure.

Ces modes de réalisation, électrode commune unique, électrode commune pour des familles caractérisées par la nature chimique de la surface, électrode commune pour des familles caractérisées par  
15 les diodes utilisées, peuvent être combinés au sein d'une même plaquette. En particulier une électrode commune peut être utilisée pour des familles caractérisées de manière croisée à la fois par la nature chimique de leur surface et par les diodes  
20 utilisées.

Dans un mode particulier de l'invention, l'électrode commune peut être associée à des diodes permettant un adressage simultané des plages d'une même famille, chaque plage d'une microstructure étant reliée  
25 à l'électrode commune via une diode permettant de tester séparément les microstructures avant découpage de la plaquette.

L'électrode commune peut être réalisée par métallisation à la surface de la plaquette. Les diodes  
30 peuvent être réalisées par implantation locale permettant de créer des jonctions à semi-conducteurs de type np ou pn.

Dans un mode préférentiel, le report de l'ensemble des contacts électriques sur une même surface plane de référence permet l'assemblage sur un support plan. Dans ce mode de réalisation, le report  
5 des contacts sur des couches inférieures peut être réalisé via des métallisations sur des pans inclinés micro-usinés. Dans le cas d'une microstructure réalisée à partir du micro-usinage de surface d'une plaquette de SOI, la surface plane de référence peut être la surface  
10 épitaxiée.

La microstructure, selon des modes de réalisation de l'invention, peut être interconnectée à un support dit d'interconnexion réalisé sur semi-conducteur comportant des pistes et différentes  
15 familles de plots d'interconnexion électrique, dont l'une des familles au moins comporte un revêtement adhésif réalisé par greffage électro-initié.

Les motifs du support d'interconnexion (plots, pistes, joint d'étanchéité) sont réalisés en utilisant  
20 la sélectivité par les matériaux ou par des diodes réalisées par dopage local. Ce dopage local est également utilisé pour la réalisation des pistes du support, une polarisation appropriée permettant de garantir l'isolation entre pistes. Dans ce mode de  
25 réalisation, le substrat semi-conducteur du support peut être utilisé comme l'électrode commune.

La microstructure, selon des modes de réalisation de l'invention, peut être interconnectée à un support dit d'interconnexion lui-même comprenant un  
30 composant électronique fabriqué à partir de l'assemblage d'une partie électronique active et d'un capot fonctionnalisable réalisé en partie comme le

support d'interconnexion. Ce dernier assemblage peut être réalisé au niveau des plaquettes par des méthodes connues (wafer bounding et report de contact). De préférence, la fonctionnalisation par électrochimie du capot se fait après l'assemblage.

L'invention peut être utilisée pour réaliser un microsystème comportant une ou plusieurs microstructures telles que décrites ci-dessus, assemblées sur un support d'interconnexion silicium dont l'une au moins des microstructures est assemblée par utilisation d'un revêtement adhésif. Dans le cas d'un capteur, le support d'interconnexion possède une ouverture disposée en regard de la surface sensible (en contact avec l'environnement) du capteur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui va suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

## 20 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La figure 1 est une représentation schématique d'une plaquette de silicium comportant un ensemble de capteurs micro-usinés et d'un circuit électrochimique de garniture.

La figure 2 est un diagramme indiquant, en fonction d'une tension de polarisation appliquée à une plage conductrice, le courant électrochimique traversant un circuit électrochimique de greffage.

Les figures 3a à 3i représentent de façon schématique des coupes transversales d'exemple de microstructures selon l'invention.

Les figures 4a à 4f représentent différents modes de réalisation de plaquette comportant des microstructures selon l'invention.

La figure 5 est une représentation schématique d'une réalisation particulière d'une microstructure permettant de réaliser un capteur de pression conforme à l'invention comprenant une membrane fonctionnalisée. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale de la microstructure et une partie B  
10 représentant une vue de dessus.

La figure 6 est une représentation schématique d'un microsystème réalisé à partir de l'assemblage sur un support d'interconnexion, d'une microstructure selon l'invention, d'un composant électronique dédié (ASIC).  
15 Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale du microsystème après assemblage, une partie B représentant une vue de dessus avant assemblage du support d'interconnexion, et des parties C et D représentant schématiquement une vue de dessus  
20 avant assemblage du circuit intégré et de la microstructure respectivement.

La figure 7 est une modélisation de la configuration permettant la fonctionnalisation sélective de deux familles de plages reliées  
25 électriquement. Elle comporte une partie A représentant de façon schématique, la topologie de la configuration et une partie B représentant une modélisation électrique de la partie en solution du circuit électrochimique.

La figure 8 indique les modifications du  
30 diagramme de la figure 2 pour le circuit électrochimique modélisé figure 7.

La figure 9 est une représentation schématique d'une réalisation particulière d'une microstructure conforme à l'invention permettant de réaliser un capteur de pression comprenant une membrane fonctionnalisée, des contacts électriques recouverts d'un film organique et un joint d'étanchéité. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale de la microstructure et une partie B représentant une vue de dessus.

La figure 10 décrit le diagramme associé aux étapes successives de fonctionnalisation de la microstructure de la figure 9.

La figure 11 est une représentation schématique d'un support d'interconnexion en silicium comprenant une antenne de couplage permettant d'assembler une microstructure selon l'invention et un circuit intégré formant un composant électronique d'interface. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale du support d'interconnexion et une partie B représentant une vue de dessus.

La figure 12 est une coupe schématique d'un microsystème réalisé par l'assemblage d'un support d'interconnexion tel que décrit sur la figure 11 après fonctionnalisation avec une microstructure telle que décrit sur la figure 9 après fonctionnalisation et un composant électronique classique assemblé par wire-bonding.

La figure 13 est une représentation schématique d'un composant électronique conforme à l'invention comprenant une partie électronique active et un capot de protection permettant d'obtenir des contacts électrique recouverts d'un adhésif. Elle comporte une

partie A représentant une coupe transversale du composant et une partie B représentant une vue de dessus.

La figure 14 est une coupe schématique d'un microsystème réalisé par l'assemblage d'un support d'interconnexion en silicium comprenant une antenne de couplage, tel que décrit sur la figure 11, après fonctionnalisation, avec une microstructure, telle que décrite sur la figure 9, après fonctionnalisation, et un composant électronique tel que décrit sur la figure 13, après fonctionnalisation.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Dans la description qui suit, des parties identiques, similaires ou équivalentes sur une même figure sont repérées par les mêmes signes de référence. Par ailleurs, et dans un souci de clarté des figures, tous les éléments ne sont pas représentés selon une échelle uniforme. De plus des zones réalisées dans un matériau ou le matériau constituant ladite zone sont représentées par le même numéro de référence.

#### Circuit électrochimique et substrat de capteur

La figure 1 montre une plaquette de silicium 100 particulière, conforme à l'invention.

La plaquette de silicium 100 comprend une pluralité de microstructures 1 réalisés à sa surface. Les microstructures 1 sont représentés schématiquement par une partie mécanique 102 comportant une zone déformable 104 sous la forme d'une membrane. Les microstructures 1 sont susceptibles de recevoir une garniture par voie électrochimique permettant de



fonctionnaliser leur membrane 104. Les membranes 104  
nues représentent des plages à garnir. Elles sont  
électriquement reliées par une électrode commune 106 à  
un plot d'adressage commun représenté symboliquement  
5 par la référence 108 sur la figure 1. Le plot  
d'adressage commun 108 peut être disposé ou non sur la  
plaquette de silicium 100.

La référence 120 indique un potentiostat pour  
la réalisation d'un montage de préférence à 3  
10 électrodes. Le potentiostat 120 est relié à une  
électrode de travail 110, connectée au plot d'adressage  
commun 108, à une électrode de référence 122 et à une  
contre-électrode 112. La contre-électrode 112, et les  
15 plages conductrices à garnir 104 sont mises en contact  
avec un même milieu électrochimique 114 de façon à  
former ensemble avec la plaquette 100, le circuit  
électrochimique 116. Dans le montage à 3 électrodes  
utilisé, les potentiels sont mesurés par rapport à  
l'électrode de référence 122.

20 On applique un potentiel au plot d'adressage  
commun 108 soit par un montage à 2 électrodes, soit, de  
préférence et comme représenté figure 1, par un montage  
à 3 électrodes de façon à ce que ce potentiel soit égal  
à une valeur  $V$  donnée par rapport à une référence.

25 La composition du bain électrochimique peut  
être largement variable en fonction du type de  
garniture que l'on souhaite former sur les plages  
conductrices. On entend par garniture un revêtement  
organique réalisé en couche mince par voie  
30 électrochimique.

Voltamogramme

La figure 2 est un diagramme, plus précisément un voltammogramme, indiquant en ordonnée l'évolution d'un courant électrochimique dans le circuit 116 représenté figure 1. Le courant est donné en fonction d'un potentiel appliqué à une plage conductrice 104 par rapport à l'électrode de référence 122. Ce potentiel est reporté en abscisse. Les courant I et tension V sont indiqués en échelle arbitraire.

Le diagramme de la figure 2, donné à titre d'illustration, correspond à un procédé de garniture particulier obtenu par réaction électro-initiée : il s'agit d'un électro-greffage couplé à une croissance chimique de polymère, tel qu'il peut être obtenu par électro-réduction ou électro-oxydation de monomères vinyliques ou de monomères cycliques clivables par attaque nucléophile ou électrophile, ou encore par l'électro-réduction ou l'électro-oxydation de précurseurs électro-clivables, en particulier lorsque leurs produits d'électro-réduction ou d'électro-oxydation sont des radicaux réactifs, notamment par l'électro-réduction de sels de diazonium, de sulfonium, de phosphonium ou d'iodonium. L'électro-greffage de monomères permet de fixer de façon covalente des polymères sur les plages conductrices ou semi-conductrices. Ces polymères "poussent" sur la surface à partir du premier monomère électro-réduit sur la surface conductrice 104, par croissance chimique. Seule la première étape d'accrochage du premier monomère sur la surface est électrochimique, la croissance étant, elle, purement chimique. On a donc bien une réaction électro-initiée. L'électro-greffage de sels de diazonium et analogues conduit - en général - à des

couches qui ne croissent pas. C'est donc un cas particulier d'une réaction électro-initiée, réduite à sa plus simple expression.

Dans la suite, les tensions sont indiquées en valeur absolue, et sont implicitement celles de l'électrode de travail, mesurées par rapport à une électrode de référence. Comme indiqué plus haut, elles ne correspondent à la tension effectivement appliquée expérimentalement que dans le cas d'un montage à 3 électrodes (la chute ohmique dans le circuit électrochimique étant supposée compensée par le potentiostat). Dans le cas d'un montage à 2 électrodes, il aura fallu imposer une tension  $V'$  différente de  $V$ , non mentionnée sur le graphique. La polarité constante de la tension appliquée pour une garniture donnée, est appelée polarité de la garniture. Lorsque la tension de polarisation est comprise entre une valeur nulle et une valeur de démarrage  $V_s$ , un courant électrique très faible, voire indétectable, traverse le circuit. En tout état de cause, ce courant est insuffisant pour produire un dépôt détectable a posteriori par des moyens d'analyse des surfaces. On considérera, de ce fait et étant donné les objectifs recherchés, que la copolymérisation considérée ici est une réaction électro-initiée qui n'a lieu qu'à partir d'une tension de polarisation minimale.

A partir d'une tension de démarrage  $V_s$ , et jusqu'à une tension de seuil de garniture  $V_g$  un courant faible circule dans le circuit électrochimique 116. Ce courant ne traduit cependant pas nécessairement un phénomène de garniture. Il correspond à des réactions parasites concurrentes qui promeuvent essentiellement

une chimie couplée se déroulant en solution, et ne délivrant donc pas de dépôt organique significatif.

En effet, le courant électrochimique traversant le circuit n'est pas exactement corrélé à la croissance d'un matériau de garniture sur les plages conductrices. Le courant électrochimique traduit au moins deux phénomènes distincts et concurrents. Un premier phénomène est le phénomène recherché et correspondant à la formation de la garniture sur les plages conductrices. Un autre phénomène correspond à la formation parasite de polymères dans le bain électrochimique, indépendamment du support de garniture. Les polymères ainsi formés se fixent éventuellement sur les plages conductrices par sorption physique mais leur fixation n'est pas stable, ils sont éliminés par rinçage.

La garniture proprement dite s'établit à partir d'une tension de seuil  $V_g$ . On désigne par  $V_{sat}$  un potentiel appelé "potentiel de saturation", qui est en général supérieur à un potentiel de pic  $V_p$  pour lequel le courant en fonction du potentiel appliqué présente un maximum. Le "potentiel de saturation"  $V_{sat}$  est un potentiel à partir duquel l'épaisseur de matériau greffé ne change pas avec le temps d'application de la tension à la plage conductrice. Ladite épaisseur est la limite asymptotique de l'épaisseur maximale que l'on peut obtenir dans un bain électrolytique donné. Ce potentiel correspond aussi à une valeur minimale permettant, à partir de balayages voltammétriques de potentiel effectués entre une valeur inférieure ou égale à  $V_g$  et une valeur d'arrêt supérieure ou égale à cette valeur minimale  $V_{sat}$ , d'obtenir des courbes -une

courbe par valeur d'arrêt- donnant l'épaisseur du film  
 en fonction du nombre de cycles, par exemple en  
 conditions voltammétriques ou en multicrénéaux, les  
 différentes courbes obtenues présentant toutes cette  
 5 même asymptote, indépendante de la valeur exacte du  
 potentiel d'arrêt utilisé. C'est aussi le potentiel  
 minimal avec lequel, moyennant un nombre de cycles  
 voltammétriques suffisant effectués entre une valeur  
 inférieure à  $V_g$  et une valeur d'arrêt supérieure au  
 10 potentiel de saturation  $V_{sat}$ , on parvient à saturer les  
 sites de la plage conductrice en chaînes polymères  
 électro-greffées. Dans l'intervalle de tension compris  
 entre  $V_g$  et  $V_{sat}$ , le phénomène de garniture est  
 prédominant. Cet intervalle est appelé la largeur de  
 15 potentiel de garniture.

En augmentant encore la tension de  
 polarisation, au-delà de  $V_{sat}$ , le phénomène de  
 garniture des plages conductrices devient minoritaire  
 par rapport à d'autres phénomènes concurrents tels que  
 20 la formation de matériaux en solution dans le bain  
 électrochimique, mais le dépôt de polymères électro-  
 greffés à la surface se stabilise.

Ainsi, la polarisation des plages à garnir est  
 idéalement maintenue au moins égal au potentiel de  
 25 saturation  $V_{sat}$ .

Les valeurs des différents potentiels,  $V_s$ ,  $V_g$ ,  $V_p$ ,  
 $V_{sat}$  du voltammogramme dépendent à la fois de la nature  
 N de la surface conductrice d'une plage à garnir et du  
 type de garniture X. Ceci sera rappelé lorsque  
 30 nécessaire par la notation  $V[X/N]$  par la suite.

Principe greffage localisé homogène

Il est difficile d'envisager des résolutions latérales et en épaisseur élevées avec des techniques d'électrochimie conduisant à des revêtements organiques dont l'épaisseur est une fonction fortement croissante  
5 avec le temps de traitement et la valeur locale du champ électrique, ce qui est notamment le cas pour les réactions électro-suivies, comme l'électro-déposition de métaux ou de poly-électrolytes, ou encore l'électro-polymérisation, par exemple de précurseurs de polymères  
10 conducteurs (pyrrole, aniline, thiophènes et dérivés). Ces réactions électro-suivies ont en commun de provoquer la formation d'un dépôt (non greffé dans le cas des dépôts organiques), dont la quantité de matière - donc en général l'épaisseur - est proportionnelle à  
15 la charge (intégrale temporelle du courant électrique) passée dans le circuit pendant le protocole. Les inhomogénéités de potentiel, provoquées par des différences de chutes ohmiques par exemple, conduisent à des épaisseurs très différentes. Des inhomogénéités  
20 locales de champ électrique, provoquées par des effets de pointe, conduisent à des effets de bord importants. On veut dire que la garniture déborde de la plage conductrice d'implantation d'une façon mal contrôlée en sorte que la résolution spatiale de la garniture et  
25 donc la densité des plages conductrices (rapport entre le nombre de plages ayant chacune une surface et la surface totale du substrat sur lequel se trouvent ces plages) est limitée.

Le greffage électrochimique à partir de  
30 réactions électro-initiées telles que décrites précédemment permet par contre de réaliser un greffage localisé car il est par nature moins sensible aux

---

inhomogénéités de champ électrique. Ce greffage localisé permet de traiter des supports avec une grande densité de plages, sans utilisation de masques.

L'épaisseur locale d'un revêtement réalisé à partir d'une réaction électro-initiée utilisant le greffage de monomères isolants pour accrocher certaines chaînes organiques ou initier leur croissance, dépend de la longueur de la chaîne formant la molécule du produit greffé et de la densité de greffage. La molécule étant choisie de manière à ce que sa longueur de la chaîne soit une donnée intrinsèque de la solution utilisée, le procédé conduit donc à une saturation de l'épaisseur du revêtement et limite les effets de bord.

Seul le taux de couverture de la plage par la garniture, défini par le rapport entre la surface de la garniture couvrante et la surface de la plage, est une fonction dépendant de la cinétique électrochimique de la réaction de greffage. Un premier niveau d'homogénéité du revêtement est obtenu dès que le potentiel à la surface de chaque plage se trouve dans une fenêtre de potentiel garantissant une cinétique de greffage minimale. Cette condition moins contraignante que celle décrite ci-après facilite la mise en œuvre pratique en limitant les effets des inhomogénéités du potentiel. Le taux de greffage défini comme étant le nombre de sites de la surface greffés sur le nombre total de sites disponibles de la surface, qui est alors obtenu est typiquement supérieur à 30%. Ce taux de greffage correspond à un taux de couverture de 60%.

Lorsque l'homogénéité en épaisseur est un paramètre critique pour la qualité du revêtement obtenu, les effets des variations de potentiel peuvent

même être évités en utilisant le procédé dans un mode de saturation : en répétant le balayage de la tension entre un potentiel inférieur à  $V_g$  et un potentiel se situant au delà du potentiel de saturation jusqu'à  
5 obtenir une saturation du nombre de sites greffés, l'épaisseur du revêtement est une valeur intrinsèque qui ne dépend plus de la valeur exacte du potentiel local mais juste de sa présence dans une fenêtre de potentiel au delà du potentiel de saturation. Ce mode  
10 fournit un taux de greffage élevé (supérieur à 60%, qui correspond le plus souvent au taux de greffage maximal compte tenu de l'encombrement stérique entre chaînes voisines. Ces taux de greffage assurent des taux de couverture supérieurs à 90%, ce qui signifie que le  
15 revêtement est couvrant ou quasiment couvrant).

#### Effet de la résistance d'accès

Les inhomogénéités du potentiel peuvent provenir de l'existence d'une résistance de valeur  
20 finie le long de l'électrode commune 106. En effet, en se référant à la figure 1, le potentiel contrôlé est celui appliqué par le potentiostat 120, au niveau du plot d'adressage commun 108, mesuré par rapport à l'électrode de référence 122. Or c'est le potentiel  
25 présent localement entre chaque plage à garnir 104 et l'électrode de référence 122 qui gouverne la réaction électro-initiée.

Pendant la phase de garniture, le potentiel  $V$  dépend du courant circulant dans l'électrode commune  
30 106. Le modèle le plus simple pouvant être utilisé comporte une résistance  $R$  prenant en compte la chute de potentiel due à l'électrode commune 106. Par rapport à



la figure 1, il s'agit, pour une plage donnée, de la résistance associée à la longueur de la ligne joignant cette plage au point de raccordement commun 108. Cette résistance est variable d'une plage à l'autre puisque  
 5 les longueurs de ligne 106 entre le plot commun d'adressage 108 et chacune des plages sont en général différentes les unes des autres.

Le courant  $I_c$  traversant une résistance placée entre le point 108 et une plage conductrice 104 est la  
 10 somme des courants électrochimiques. Il induit une chute de potentiel

$$\delta V = R \cdot I_c$$

Ce courant présente un maximum  $I_m$  au niveau du potentiel de pic  $V_p$  pour le domaine utilisé. Si l'on  
 15 suppose que l'opérateur impose un potentiel  $V = V_{sat} + \delta V_{sat}$ , alors tant que la ddp  $\delta V_{sat}$  est grande devant la chute de potentiel maximum due à la résistance  $R$ , soit  $\delta V_{max} = R \cdot I_m$ , le voltammogramme, donc la zone de potentiel de greffage, est peu modifié par la présence  
 20 de la résistance. En d'autres termes, tant que  $\delta V_{max} \leq \delta V_{sat}$ , le potentiel est partout supérieur à  $V_{sat}$ , et le film déposé par réaction électro-initiée est partout de la même épaisseur, quelle que soit la cartographie de chute ohmique locale sur l'électrode de travail 110.  
 25 Cette condition est remplie quand la valeur de la résistance en série  $R$  est faible devant l'impédance différentielle  $R_g$  de traitement du plot définie, de façon conventionnelle par

$$R_g = (V_p - V_g) / I_m$$

30 De manière générale, la résistance  $R$  est une résistance équivalente déterminée à partir de la chute

de potentiel le long de l'électrode commune 106 entre la plage conductrice à garnir 104 et l'extrémité de l'électrode commune correspondant au point 108, calculée pour la valeur maximum de courant  $I_m$  la traversant divisée par le courant nécessaire pour traiter la plage. Pour le calcul de cette résistance  $R$ , on doit en particulier tenir compte de l'effet des courants nécessaires pour le traitement simultané des autres plages. Cette résistance  $R$  est appelée

10 résistance d'accès ou résistance d'électrode de la plage.

D'autre part, le courant électrochimique maximum  $I_m$  correspond à une densité de courant par unité de surface à greffer. Il est donc proportionnel à

15 la surface de la plage. Cette densité de courant permet de définir par analogie une résistance surfacique différentielle de traitement caractéristique du procédé électrochimique utilisé.

Un premier ordre de grandeur de la résistance à

20 ne pas dépasser pour la résistance d'accès  $R$  peut être donné par l'approche suivante. La valeur typique mesurée pour le greffage de la densité de courant est de l'ordre de  $1 \text{ mA/cm}^2$ . Pour des plages de  $100 \text{ }\mu\text{m}$  de coté ceci correspond un courant de  $100 \text{ nA}$ . La largeur

25 typique de  $V_p - V_g$  est de l'ordre de  $300 \text{ mV}$ . Ceci donne une impédance différentielle de greffage  $R_g$  de l'ordre de  $3 \text{ M}\Omega$ . Pour des plages conductrices qui seraient individuellement alimentées par une électrode de

30 résistance  $R$ , tant que cette résistance  $R$  est faible devant cette valeur de  $3 \text{ M}\Omega$ , la chute ohmique due à l'électrode commune 106 n'a pas d'effet sur la

garniture. La généralisation s'effectue en remplaçant la résistance  $R$  par la résistance d'électrode de la plage citée plus haut.

## 5 Première application à des capteurs

Pour un grand nombre d'applications, en particulier dans le domaine biomédical, il est nécessaire de fonctionnaliser la surface d'une membrane d'une microstructure appartenant à un capteur, pour lui  
 10 donner par exemple des propriétés de biocompatibilité ou pour limiter l'adhésion cellulaire susceptible de polluer le capteur. Il est à noter que ces deux fonctions ne sont pas nécessairement réalisées simultanément car un revêtement peut être considéré  
 15 comme biocompatible justement parce qu'il favorise la colonisation cellulaire.

Pour des applications demandant une stabilité de la réponse du capteur sur du long terme, cette fonctionnalisation doit être réalisée à partir d'un  
 20 dépôt d'épaisseur contrôlée permettant d'évaluer exactement les effets du film sur la réponse du capteur non seulement à un temps  $t=0$  correspondant au début de la durée de vie du capteur mais aussi de préférence à un temps  $t$  quelconque de cette durée de vie. L'objectif  
 25 est de ne pas perdre le bénéfice apporté par l'utilisation d'une microstructure électro-mécanique stable, comme par exemple une membrane 104 en silicium monocristallin, suite à la fonctionnalisation par un film organique par nature moins stable dans le temps.  
 30 Ceci est particulièrement important lorsque la structure mécanique est réalisée à partir d'un mono cristal.

L'élasticité d'une couche mince est une fonction du module d'élasticité  $E$  du matériau et de son épaisseur  $h$ . En première approximation, un revêtement (2) sur un élément élastique (1) nécessite une pression de compensation  $dP$  donnée par

$$dP = P \times E2/E1 \times (h2/h1)^3$$

$dP$  est par définition la pression supplémentaire à appliquer au niveau du revêtement pour obtenir une pression  $P$  sur l'élément élastique, par exemple une membrane nue 104 en silicium monocristallin. L'équation précédente donne une estimation par défaut de l'effet du revêtement car elle ne tient pas compte de l'adhésion entre les deux matériaux, le matériau organique constituant la garniture et le matériau élastique constituant la membrane. Par simulations numériques, on obtient des valeurs plus proches de la réalité qui montrent que cette valeur approchée peut être augmentée d'un facteur très variable suivant les cas.

On peut idéalement demander que la présence du revêtement ne modifie pas, pour une sensibilité en pression  $\delta P$  recherchée, la réponse du capteur. On appelle  $s$  l'indice de fluctuation mécanique dans le temps du revêtement. Pour le critère énoncé,

$$s = \text{Max}(dP[t] - dP[t=0]) / dP[t=0]$$

où  $dP[t]$  est la valeur de la pression de compensation au cours du temps, la valeur maximum étant évaluée sur la durée d'utilisation du capteur. Avec cette définition, les conditions sur la couche sont données par

$$dP[t=0] (1 + s) < \delta P \quad (1)$$

Une condition moins contraignante peut être imposée en acceptant que la présence de la couche modifie la réponse de la membrane nue mais de manière stable dans le temps. Cette condition suppose une calibration du capteur après l'encapsulation. Dans ce cas, la définition de la stabilité relative de la couche est légèrement différente

$$s = \text{Max}(|dP[t] - dP[t=0]|) / dP[t=0]$$

la présence de la valeur absolue, permet de tenir compte également des diminutions de la pression de compensation. Les deux définitions se rejoignent pour les faibles valeurs de  $s$ . Avec cette définition, les conditions sur la couche sont données par

$$s \times dP[t=0] < \delta P \quad (2)$$

Ainsi pour un capteur de haute précision comme un capteur absolu utilisé dans le domaine médical pour mesurer une pression physiologique (système implanté), la précision recherchée  $\delta P$  est de l'ordre de 0,1 % (1 mbar sur 1 bar).

Soit  $dP/P$  la variation de pression relative liée à la présence du film appelée la transmission du film. La condition la plus contraignante (1) impose dans ce cas une transmission inférieure à 0,1%. La seconde condition (2) autorise une transmission comprise entre 1 et 5% suivant la valeur de l'indice  $s$  de fluctuation mécanique du film dans le temps (de 10% à 50%).

Des simulations numériques ont été réalisées pour un polymère d'élasticité 1 GPa (Parylène) sur une membrane silicium d'élasticité 200 GPa de 4  $\mu\text{m}$  d'épaisseur. Pour un indice de fluctuation mécanique

dans le temps de la couche de polymère de 10%, la première condition (1) impose une épaisseur de la couche de polymère inférieure à 1  $\mu\text{m}$ . La deuxième condition (2) permet d'utiliser des épaisseurs allant jusqu'à 3  $\mu\text{m}$ . Cette épaisseur de la couche de polymère dépend faiblement de l'élasticité de ladite couche. Des simulations supplémentaires ont montré que l'épaisseur de la couche pouvait varier d'environ dix fois l'épaisseur de la membrane pour les matériaux les plus souples mais devait rester inférieure à l'épaisseur de la membrane pour les matériaux d'élasticité intermédiaire.

Il est important de noter que ces conditions sur l'épaisseur doivent pouvoir être garanties avec une bonne précision car l'élasticité de la couche est une fonction très rapide de son épaisseur. D'autre part, l'épaisseur utilisée doit être compatible avec la fonction apportée par la couche, en particulier lorsqu'il s'agit d'une fonction de protection. Ces deux conditions sont remplies avec les garnitures apportées par réactions électro-initiées particulières décrites dans ce texte.

Les figures 3a à 3i montrent de façon schématique différentes formes de réalisation de structure électromécanique 1 selon l'invention.

Sur la figure 3a une microstructure électromécanique 1 comprend une première partie 102 appelée partie mécanique, comprenant une zone déformable 104 de manière élastique. La zone 104 est réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité déformable de manière élastique. La zone 104 a une valeur d'épaisseur et une surface exposée 2.

Un premier film organique 4 ayant une épaisseur, est présent sur la surface exposée 2 de la zone déformable 104 en premier matériau. Conformément à l'invention, l'épaisseur du premier film 4 est telle qu'une réponse élastique de la zone déformable 104 ne change pas de plus de 5% par rapport à une réponse de la zone 104 du premier matériau seul, ou en ce que l'épaisseur du premier film 4 est inférieure à dix fois l'épaisseur de la zone déformable 104.

De préférence l'épaisseur du premier film 4 est telle que la réponse élastique de la zone déformable 104 de la partie mécanique 102, munie du premier film 4, ne change pas de plus de 1% par rapport à la réponse élastique de la zone déformable 104 seule.

Le premier film 4 est constitué d'une couche d'une molécule de longueur fixe liée de manière covalente à la surface exposée 2 de la zone déformable 104 du premier matériau, et dans une matière qui peut être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.

Le taux de couverture de la surface exposée 2 par le premier film 4 est supérieur à 60 % et de préférence supérieur à 90 %.

Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 3b, la partie mécanique 102 comporte à sa surface, une zone annulaire 5, entourant la surface exposée 2. La zone annulaire 5 comporte elle-même une surface 6 et est réalisée dans un deuxième matériau conducteur de l'électricité, différent au sens de la réaction électro-initiée du premier matériau de la partie mécanique 102. Un deuxième film organique 7 est présent sur la surface 6 de la dite zone annulaire 5. Ce deuxième film 7 est un film réalisé dans une matière

pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

Le mode de réalisation représenté figure 3c est un mode particulier de réalisation du mode représenté figure 3b dans lequel le premier matériau conducteur de la zone déformable 104 est un semi-conducteur dopé. Le second matériau conducteur de la zone annulaire 5 est le même semi-conducteur ayant un dopage de type opposé à celui du premier matériau. Une jonction formant diode est ainsi créée entre le second matériau de la zone annulaire 5 et le premier matériau de la zone déformable 104.

Le mode de réalisation de la figure 3d est un mode particulier de réalisation dans lequel la microstructure 1 électromécanique comporte un groupe de premiers plots 8 de contact sur une position extérieure à la zone annulaire 5. Le groupe de premiers plots 8 peut ne comporter comme représenté figure 3d qu'un seul plot 8.

Les premiers plots de contact 8 peuvent être réalisés dans un troisième matériau conducteur de l'électricité, différent au sens de la réaction électro-initiée du premier matériau de la zone déformable 104 et du second matériau de la zone annulaire 5 ou différent de l'un seulement, de ces premier 104 ou deuxième matériaux 5.

Dans le mode de réalisation représenté figure 3e, ou 3f un troisième film organique 10 est en outre présent à la surface 9 des premiers plots de contact 8. Ce troisième film 10 est dans une matière qui peut être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.



Les modes de réalisation des figures 3e ou 3f diffèrent l'un de l'autre par le fait que dans un cas la surface annulaire se trouvant sous le second film 7 est réalisé dans un matériau 5 différent du premier 5 matériau conducteur constituant la zone déformable 104, alors que dans l'autre cas le second matériau conducteur se trouvant sous le second film 7 est réalisé dans un matériau 5 différent du premier 10 matériau conducteur par le fait que son dopage est d'un type différent, par exemple n, du dopage du premier matériau, par exemple p, les premier et second matériaux conducteurs étant les mêmes semi-conducteurs.

Dans l'exemple représenté figure 3g la microstructure 1 électromécanique comporte une deuxième 15 partie 11 mécaniquement solidaire et électriquement isolée de la première partie 102. La seconde partie 11 comporte en surface un ou plusieurs deuxième plots 12 de contact réalisés dans un matériau différent au sens de la réaction électro-initié du matériau constitutif 20 de la seconde partie 11. Un quatrième film organique 14 est présent à la surface 13 des deuxième plots de contact 12. Ce quatrième film 14 est un film réalisé dans une matière qui peut être obtenue à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

25 Dans l'exemple représenté figure 3h, la microstructure 1 électromécanique comporte une troisième partie 15, isolée électriquement de la première partie 102, réalisée dans un matériau conducteur de l'électricité. La deuxième partie 11 et 30 la troisième partie 15 sont électriquement reliées l'une à l'autre par exemple par une liaison 20. Un quatrième film organique 14 est présent à la surface 13

des deuxièmes plots de contact 12. Ce quatrième film 14 est dans une matière qui peut être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.

L'exemple représenté figure 3i correspond à  
5 l'un des cas représentés et décrit avec les figures 3a à 3h dans lequel un plot de raccordement d'électrode 19 est réalisé dans la partie 102 dans un matériau conducteur différent du premier matériau 102 et situé en dehors de la surface exposée 2 et de la zone  
10 annulaire 5 si celle ci est présente. Le premier matériau 102 peut être par exemple de préférence un semi-conducteur dopé d'un premier type et le matériau de plot 19 le même semi-conducteur d'un type opposé au premier type.

15 Dans un mode de réalisation représenté figure 9, la partie mécanique 102 de la microstructure 1 se présente sous la forme d'une couche de silicium monocristallin, venant au dessus d'une couche isolante 16, par exemple en silice. La deuxième partie 11 est  
20 également portée par cette même couche de matériau isolant 16 en sorte que les première 102 et deuxième 11 parties sont solidaires de cette couche isolante 16. Dans ce mode, la troisième partie 15 est constituée par une couche de silicium sur lequel repose ladite couche  
25 isolante 16. La dite couche isolante 16 comporte un évidement 18 situé immédiatement sous la zone déformable 104. Cet évidement 18 permet à la zone déformable 104 couche en silicium monocristallin 102 de se déformer. Ce mode de réalisation de la  
30 microstructure électromécanique 1 sera décrit de façon plus détaillée plus loin.

Dans ce mode de réalisation la microstructure électromécanique 1 selon l'invention est destinée à un usage médical ou vétérinaire, et le premier film 4 organique est dans un matériau tel que la surface exposée 2 de la zone déformable 104 couverte de ce film 4 présente des fonctions de biocompatibilité, de non cyto-toxicité et/ou d'anti-adhésion ou anti-prolifération cellulaire. Le deuxième film 7 est un film présentant des fonctions de biocompatibilité et de non cyto-toxicité.

Avant de décrire en détail le mode de réalisation particulier, des exemples de plaquette 100 portant plusieurs microstructures 1 selon l'une des formes de réalisation de l'invention seront succinctement décrites en liaison avec les figure 4a à 4f. Ces figures sont destinées à faire apercevoir les différentes façons dont une ou plusieurs électrodes communes lient électriquement ensemble selon les cas des parties identiques des microstructures 1. Afin de mieux faire apercevoir la correspondance avec les figures 3, les microstructures 1 sont représentées en coupe transversale et le parcours des électrodes commune est représenté en vue de dessus. Les figures 4a à 4f ne comporte que deux microstructures 1 identiques, mais il faut comprendre qu'elles en comporte normalement bien d'avantage, qui ne sont pas nécessairement identiques entre elles. Pour aérer la présentation les numéros de référence ont été répartis entre les deux microstructures de chaque figure.

Dans l'exemple représenté figure 4a une première électrode commune 106a relie électriquement entre elles toutes les parties mécaniques 102 réalisées

dans le premier matériau conducteur. Les microstructures 1 peuvent comporter en plus de la zone déformable 104, comme représenté figure 4a, une zone annulaire 5 sur lequel est présent un deuxième film 7 et un plot de contact 8, sur lequel est présent un troisième film 10, telle que décrit en relation avec les figures 3.

Dans les exemples représentés figure 4b et 4c, les microstructures 1 sont respectivement les microstructures 1 représentées figure 3c et 3f.

Dans l'exemple représenté figure 4b, la plaquette 100 comporte une première électrode 106b commune reliant électriquement toutes les zones annulaires 5 entre elles. La polarité nécessaire pour électro-initier le premier film 4 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens zone annulaire 5 vers partie mécanique 102.

Dans une variante de réalisation représentée figure 4c, la première électrode commune 106a relie électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles. La polarité nécessaire pour électro-initier le deuxième film 7 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens de la partie mécanique 102 vers la zone annulaire 5.

Dans l'exemple représenté figure 4d, les microstructures 1 sont identiques à celles représentées figure 3f. Une première électrode commune 106b relie électriquement entre elles toutes les zones annulaires 5. La polarité nécessaire pour électro-initier les premier 4 et troisième film 10 est identique et correspond au sens passant de la diode créée par le

dopage dans le sens zone annulaire 5 vers partie mécanique 102.

Dans la figure 4e, les microstructures 1 représentées sont identiques aux microstructures des figures 3e ou 3f mais comportent en plus une deuxième partie 11 mécaniquement solidaire et électriquement isolé de la première partie 102. La figure 4e représente uniquement une microstructure identique à la microstructure de la figure 3e mais qui comporte en plus une deuxième partie 11. La plaquette 100 comporte une première électrode commune 106a reliant entre elles toutes les premières parties mécaniques 102. Elle comporte en outre une seconde électrode commune 106c reliant entre elles toutes les secondes parties 11.

Dans l'exemple représenté figure 4f les plaquettes 100 comportent un ensemble de microstructures 1 telles que décrites en relation avec la figure 3i réalisées à la surface de la plaquette par un procédé collectif. La plaquette 100 comporte une première électrode commune 106d reliant électriquement entre eux tous les plots d'électrodes 19. La polarité nécessaire pour électro-initier les films organiques 4, 7, 10 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage entre les plots d'électrode 19 et les parties mécaniques 102.

La figure 5 illustre un exemple particulier de mise en œuvre de l'invention pour des dispositifs électromécaniques nécessitant une garniture. Le substrat est une plaquette de silicium sur laquelle sont micro-usinées des microstructures 1 électromécaniques destinées à être utilisées pour réaliser des capteurs de pression. La figure 5 représente une seule

de ces microstructures 1. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale et une partie B représentant une vue de dessus.

La plaquette 100 à partir de laquelle est  
5 réalisée la microstructure 1 est un substrat SOI  
(Silicon On Insulator) composé d'une partie inférieure  
15, recouverte d'une couche de silice 16 et d'une  
couche de silicium monocristallin 102 augmentée par  
épitaxie, typiquement d'épaisseur micrométrique (partie  
10 supérieure du substrat dite partie mécanique 102). La  
gravure locale par des moyens chimiques de la couche de  
silice 16 permet de réaliser une cellule sous vide 18.  
L'étanchéité de la cellule 18 après gravure est assurée  
au moyen d'un bouchon 21 venant fermer une ouverture  
15 pratiquée dans la couche de silicium monocristallin 102  
pour la gravure de la couche isolante 16. La partie  
supérieure 104 de la cavité 18, constituée par une  
partie centrale libérée de la couche 102 de silicium  
monocristallin fait office de membrane 104 se déformant  
20 sous l'effet d'une pression. La déformation de la  
membrane 104 se traduit par une modification d'une  
valeur de capacité mesurée entre les deux plans de  
silicium 15 et 102 grâce à des contacts électriques 22  
et 25 réalisés par dépôt local d'or, sur la couche 15  
25 et la couche 102 respectivement. Pour obtenir un  
accrochage optimum entre l'or et le silicium une couche  
d'interface, typiquement à base de titane et de nickel  
est utilisée. Pour améliorer le contact électrique, un  
sur dopage peut être réalisé sous les plots de contact  
30 22, 25. Dans la suite du texte, un dépôt d'or sur  
silicium sous entend l'utilisation d'une couche  
d'accrochage intermédiaire et/ou d'un sur dopage. La

---

métallisation peut également être réalisée par tout autre dépôt métallique connu.

Une garniture sous forme d'un film 4 est déposée à la surface de la membrane 104. A titre d'exemple de mise en œuvre, avec des bains contenant des monomères vinyliques et/ou des molécules cycliques clivables, on peut réaliser notamment des revêtements dont les propriétés peuvent être ajustées. Ainsi, l'électro-greffage de l'hydroxy-éthyl méthacrylate (HEMA), du méthyl méthacrylate (MMA), du butyl méthacrylate (BMA), de poly éthylène glycol diméthacrylate (PEG-di-MA), de la N-vinyl pyrrolidone (NVP), et plus généralement de monomères vinyliques activés fonctionnalisés par des substituants (moléculaires ou macromoléculaires) de nature biocompatible, permettent d'obtenir des films polymères présentant de bonnes propriétés de biocompatibilité, notamment au sens de la norme ISO 10993. Les films obtenus par électro-greffage sont en général isolants, à taux de greffage élevé, mais il n'est pas rare d'observer que l'isolation électrique, notamment en solution, est d'autant plus favorisée que le polymère électro-greffé est plus hydrophobe. Le dépôt d'un revêtement biocompatible 4 sur la membrane 104 va permettre de rendre la surface en contact avec l'environnement biocompatible (surface exposée), le bouchon 21 étant soit un matériau biocompatible, soit recouvert d'un matériau non organique biocompatible par des techniques de dépôt de couche mince microélectronique.

Dans l'exemple représenté figure 5, la zone déformable 104, constituant la membrane est sensiblement circulaire. La partie non déformable de la couche 102 repose sur la couche de silice 16. Une  
 5 première excroissance 23 de la couche 102 descend selon une pente douce 318 créée par micro-usinage vers la couche isolante 16.

Pour permettre la fonctionnalisation collective des membranes 104 de l'ensemble des parties mécaniques  
 10 102 présentes sur une même plaquette 100, une électrode commune 106a telle que décrite sur la figure 1 ou les figures 4 permettant de relier l'ensemble des plages 102 à un point commun 108 en périphérie de la plaquette est réalisée grâce à une piste 106a en or parcourant la  
 15 couche de silice 16 sur l'ensemble de la plaquette 100. Ainsi la référence 24 désigne une partie de la piste 106 traversant de part en part une microstructure électromécanique 1. La piste 24 est sur chaque microstructure reliée électriquement à la couche 102 de  
 20 cette microstructure électromécanique 1 par une piste d'or 25 reposant sur la pente 318 créée par micro-usinage de la couche épitaxiée 102. Ces couches sont revêtues d'une couche de passivation. Des plots d'interconnexion 26, 26a à un support d'interconnexion  
 25 402 qui sera décrit plus loin sont ouverts, suivant une méthode connue, dans la couche de passivation déposée sur la métallisation Au.

#### Sélectivité par matériau

30 Un premier procédé de dépose de garniture sur différentes plages conductrice de la microstructure



électromécanique 1 utilisant la sélectivité par matériau sera maintenant décrit.

Il a été noté que les différents potentiels caractéristiques utilisés pour la description d'une  
5 réaction électro-initiée dépendent de la nature du matériau de la surface conductrice. On définit des matériaux de nature différente au sens d'une réaction électro-initiée comme étant des matériaux qui diffèrent l'un de l'autre par, au moins par exemple, l'un des  
10 paramètres suivants : travail de sortie électronique dans le vide, solvation de la surface par le solvant d'électrolyse, acidité de Brønsted dans le solvant d'électrolyse.

Ainsi, pour une garniture X donnée, tous les  
15 autres paramètres étant égaux par ailleurs, le potentiel  $V_g[X/Au]$  nécessaire pour initier la réaction électro-initiée sur l'or est plus faible que celui  $V_g[X/Si]$  sur le silicium. En pratique, des cycles successifs en tension entre le potentiel nécessaire à  
20 initier la réaction et un potentiel supérieur où le rendement de la réaction est optimisé, est réalisé. La fonctionnalisation de la membrane en silicium à partir du potentiel de saturation  $V_{sat}[X/Si]$  entraîne une formation plus importante de polymères en solution à  
25 cause de la présence de la surface en or associée à un potentiel de saturation  $V_{sat}[X/Au]$  inférieur. Cet effet peut être évité en appliquant successivement lors d'une étape I le potentiel  $V_{sat}[X/Au]$  jusqu'à saturation des plages en or, puis lors d'une étape II le potentiel  
30  $V_{sat}[X/Si]$  pour la fonctionnalisation des membranes.

Il est également possible de fonctionnaliser la surface des membranes en laissant les contacts électriques de tout revêtement.

Lors d'une première phase I de garniture, une première garniture A est appliquée sur les contacts par un potentiel  $V_{sat}[A/Au]$  permettant le greffage de la garniture A sur les contacts en or mais pas sur la membrane en silicium. L'écart typique entre les deux potentiels  $V_{sat}[X/Au]$  et  $V_{sat}[X/Si]$  est en effet supérieur à la largeur typique de potentiel de garniture (ce qui signifie que  $V_{sat}[X/Au]$  est inférieur à  $V_g[X/Si]$ ). La garniture A ne se greffe pas sur les zones en silicium pour le potentiel  $V_{sat}[A/Au]$ .

Une seconde garniture B est réalisée sur la surface des membranes par application du potentiel approprié  $V_{sat}[B/Si]$ . Aucune garniture B n'est réalisée à la surface des zones ayant été fonctionnalisée par la garniture A même si le potentiel  $V_s[B/Au]$  est inférieur au potentiel appliqué. En effet, les plages préalablement garnies restent insensibles au nouveau traitement, notamment lorsque leur garniture préalable est isolante : par "garniture isolante", on entend ici une garniture qui empêche la reprise d'une nouvelle réaction électro-initiée. Si cette nouvelle réaction est par exemple une réaction d'électro-greffage, (i) le non gonflement de la première garniture par un solvant de la nouvelle réaction ; (ii) l'insolubilité du monomère de la nouvelle réaction dans la première garniture ; (iii) l'occupation maximale (taux de greffage maximal) des sites de la plage conductrice du fait de la première garniture ; sont - indépendamment -

des causes pouvant conduire à une isolation (au sens électrochimique) de la plage déjà garnie.

5                   Finalement, un traitement chimique sélectif permettant d'enlever la garniture A sans attaquer la garniture B est réalisée, par exemple en utilisant un  
10                   protocole de potentiel adapté dans un solvant spécifique à A. La garniture A est utilisée comme masque moléculaire permettant de protéger temporairement les contacts de l'opération de garniture  
15                   des membranes par la garniture B. La garniture B étant par exemple un film de Poly-HEMA, on peut par exemple masquer préalablement certaines zones avec un film A de 4-nitro phényl diazonium, ce film pouvant être ensuite électro-gommé par un potentiel très cathodique dans  
15                   l'eau.

#### Besoin de sélectivité

De manière plus générale, l'utilisation de garnitures différentes sur certaines plages  
20                   conductrices de la face avant de la microstructure permet d'apporter différentes fonctions supplémentaires, par exemple lors d'une étape de pré-conditionnement réalisée de manière collective  
25                   simultanément sur tous les capteurs, donc avant découpe du substrat de silicium.

Pour un grand nombre d'applications, il est  
avantageux de pouvoir apporter d'autres fonctions à la surface de la microstructure lors de sa phase de pré-conditionnement pour faciliter les phases ultérieures  
30                   de montage.

Ces fonctions seront mieux comprises à partir de l'exemple suivant décrivant une des utilisations

possibles de ce type de microstructures en tant que composant d'un capteur de pression.

La microstructure peut être utilisée au sein d'un microsystème tel que décrit dans [Miniature  
5 pressure acquisition microsystem for wireless in vivo  
measurements, Renard S. et al, présenté à 1st annual  
international IEEE EMBS Special topic conference on  
microtechnologies in medicine and biology, October 12-  
14, à Lyon en France]. Un tel microsystème 200  
10 représenté figure 6 est réalisé par assemblage :

d'une microstructure électromécanique 1 formant  
l'élément sensible du capteur représenté en vue de  
dessus de façon schématique figure 6 partie D,

d'un circuit électronique 400 de type ASIC  
15 comprenant notamment un convertisseur de capacité en  
signal numérique et un coupleur permettant une  
alimentation à distance par champ magnétique et une  
transmission sans fils des mesures.

La figure 6 comporte en outre une partie A  
20 représentant une coupe transversale du microsystème 200  
après assemblage et une partie B représentant une vue  
de dessus avant assemblage d'un support  
d'interconnexion 402.

L'ASIC 400 traite notamment les données en  
25 provenance de la microstructure 1 et forme un interface  
entre la microstructure 1 et le support  
d'interconnexion 402. L'ASIC 400 et la microstructure 1  
sont montés sur le support d'interconnexion 402. Le  
support d'interconnexion 402 comprend une antenne de  
30 couplage 403 couplée à l'ASIC 400.

---

Pour cette utilisation dans un microsystème de mesure, la microstructure 1 a par exemple la forme de réalisation décrite figure 5.

Le support d'interconnexion 402 comporte des  
5 premiers plots de raccordement 427 de l'ASIC 400 et des  
second plots de raccordement 426 de la microstructure  
1. Les premiers plots 427 de raccordement du support  
402 sont en correspondance géométrique avec des plots  
427' de raccordement de l'ASIC, en sorte que la figure  
10 formée par les plots de l'ASIC peut être retournée sur  
le support d'interconnexion 402 pour que les plots 427'  
de l'ASIC 400 et les premiers plots 427 du support  
d'interconnexion 402 puissent venir en coïncidence les  
uns avec les autres. De même la microstructure 1 est  
15 équipée de plots de raccordement 26, 26a figurés figure  
5 partie B et 6 partie D par des carrés sur les pistes  
conductrice par exemple d'or. Ces plots de la  
microstructure 1 peuvent venir en coïncidence après  
retournement avec les second plots du support  
20 d'interconnexion 402. Dans l'assemblage représenté  
figure 6 partie A, l'ASIC 400 et la microstructure 1  
sont retournés sur le support d'interconnexion 402, les  
plots 427' de raccordement de l'ASIC 400 et ceux 26,  
26a de la microstructure 1 étant raccordées  
25 mécaniquement et électriquement par exemple par une  
méthode dite "flip chip" au premier et second plots du  
support d'interconnexion 402 respectivement, au moyen  
par exemple de billes insérées entre les plots 427',  
26, 26a respectivement de l'ASIC 400 et de la  
30 microstructure 1 et ceux 427, 426 du support  
d'interconnexion 402. Des résines 406, 407 de  
renforcement mécanique et de protection extérieure sont

utilisées pour terminer l'assemblage. De façon  
avantageuse, en position assemblée une ouverture  
traversante 405 du support d'interconnexion 402, se  
trouve face à la membrane 104 garnie du premier film 4.  
5 La résine 406 tout en laissant libre l'accès à la  
membrane 104 au travers de l'ouverture 405, assure  
notamment une étanchéité et une isolation électrique  
entre la membrane 104 munie de son film 4 et le reste  
du microsystème 200.

10 Un microsystème 200 tel que montré figure 6  
partie A, peut être utilisé de manière autonome pour  
des systèmes implantés pour le monitoring ponctuel de  
la pression, en particulier dans le domaine médical.  
Dans ce cas le support d'interconnexion 402 est de  
15 préférence en matériau biocompatible (comme le  
polyimide). Dans le cas général, le support  
d'interconnexion 402 peut également servir à placer le  
composant 400 dans un boîtier. Le critère  
d'encombrement est particulièrement important pour les  
20 systèmes implantés, ce qui exclut l'utilisation des  
méthodes classiques d'encapsulation.

Après la membrane 104, un second type de  
fonctionnalisation concerne donc la surface des plots  
d'interconnexion 26 liés électriquement à la membrane  
25 104 et 26a lié électriquement au plan de silicium  
inférieur 15 (figure 5 partie A). Une méthode  
particulièrement adaptée connue consiste à monter comme  
décrit ci dessus en relation avec la figure 6, la  
microstructure 1 après découpe "face avant retournée"  
30 vers le support d'interconnexion 402 (méthode dit de  
"flip-chip") en utilisant des billes fusibles pour  
l'interconnexion électrique et mécanique. Dans ce cas,

---

les plots d'interconnexion 26, 26a sont ouverts, suivant une méthode connue, dans une couche de passivation déposée sur la métallisation Au. Les billes peuvent être obtenues après recuit d'un dépôt réalisé à partir de différentes techniques connues.

Il est également intéressant de pouvoir réaliser cette fonction à partir d'un revêtement polymère conducteur déposé en couche mince ("flip-chip polymère").

Dans ce mode d'assemblage "face avant retournée" d'une microstructure 1, le support 402 comporte également une fenêtre 405 en regard de la membrane 104 de la microstructure 1 pour permettre un contact direct vers un milieu à caractériser, contact nécessaire pour la mesure de pression. L'isolation entre les contacts et le milieu, isolation nécessaire pour le bon fonctionnement d'un capteur incorporant la microstructure 1, doit être réalisée par un joint d'étanchéité (au niveau de la zone annulaire entourant la surface exposée).

Ce joint peut être réalisé à partir des techniques connues comme expliqué en relation avec la figure 6, permettant de faire diffuser par capillarité une résine 406 entre le support 402 et la microstructure 1 (technique dite "underfill") couplée à l'effet de capillarité pour que la résine ne recouvre pas la membrane 104 munie du film 4.

Il est également intéressant de chercher à réaliser ce joint à partir d'un polymère isolant. Ceci correspond à un troisième besoin de fonctionnalisation.

Les différentes fonctionnalisations décrites demandent des polymères ayant des propriétés

différentes : contrainte sur l'épaisseur et fonctionnalisation de type chimique pour la membrane 104 de la microstructure 102, conductivité et propriété d'adhésion pour les contacts électriques 410-413 et  
5 isolation et propriété d'adhésion pour la zone annulaire pour former un joint d'étanchéité.

Il est possible d'utiliser la sélectivité provenant du matériau pour disposer d'un premier moyen de sélectivité lorsque les deux plages à garnir sont ou  
10 peuvent être connectées électriquement, par exemple en utilisant un dépôt d'or sur la surface de silicium comme décrit plus haut. Un autre moyen de sélectivité peut être utilisé dans le cas général.

#### 15 Effet d'une diode

Un adressage sélectif est utilisé lorsqu'il est nécessaire de greffer des polymères différents sur des surfaces de même nature chimique à partir d'une même électrode commune. Ce choix d'une électrode commune  
20 unique peut être un choix pour simplifier le réseau d'électrode lorsque le composant est fabriqué de manière collective sur une plaquette ou peut être imposé par la technologie de fabrication.

La figure 7 illustre un circuit équivalent de la configuration utilisée dans le cas de deux familles  
25 distinctes de plages utilisant une même électrode. La partie A de la figure représente la topologie de la configuration. A la surface d'un composant 500 inclus dans une plaquette 514 en comprenant plusieurs, se  
30 trouvent deux types de plages 502 et 504 de même nature chimique, par exemple de l'or. Les deux ensembles de plages de type 502 et 504 forment respectivement des

---



familles 510 et 512 lorsque le composant 500 est répété sur la plaquette 514. Les plages 502 de la famille 510 sont reliées à une électrode commune 506 parcourant la plaquette. L'adressage sélectif est obtenu en  
 5 intercalant localement des diodes 508 entre les plages 504 de la famille 512 à garnir et l'électrode commune 506. La partie B de la figure 7 est une modélisation électrique d'une partie du circuit électrochimique.

Pendant l'opération de greffage, le potentiel V  
 10 existant entre une plage conductrice 504 à garnir et l'électrode de référence dépend du courant circulant dans le circuit d'adressage.

La figure 8 est le voltammogramme associé à la configuration décrite sur la figure 7. Il est établi en  
 15 fonction d'une tension  $V_r$  mesurée par un voltmètre entre la source et l'électrode de référence, non représentées sur le schéma, dans un montage classique à trois électrodes (cf. figure 1).

Le voltammogramme comprend deux courbes 600 et  
 20 602 associées respectivement à la garniture des plages des familles 510 et 512 pour une garniture donnée. La courbe 600 est identique à celle représentée figure 2 puisque le potentiel présent sur la plage 502 est identique à celui appliqué au niveau de la source 506.  
 25 Ce modèle ne tient pas compte de l'existence d'une résistance éventuelle le long de l'électrode commune considérée comme négligeable suivant les conditions décrites précédemment. La courbe 602 est elle différente à cause de l'existence de la diode 508 entre  
 30 la plage 504 et la source 516 : le potentiel présent sur la plage 504 n'est pas celui appliqué par la source 506.

Pour modéliser l'effet de la diode intercalée entre l'électrode commune et une plage conductrice, il est nécessaire de revenir sur le modèle électrique proposé figure 7 en examinant les effets transitoires correspondant à l'établissement du potentiel.

Dans un modèle simple, la réaction électrochimique telle que décrite par le voltammogramme de la figure 2, peut être modélisée par une diode de seuil  $V_s$  associée à une résistance en série  $R_g$  permettant de rendre compte de la pente du voltammogramme. La diode utilisée comme moyen de décalage peut être modélisée par une diode parfaite associée à une résistance en parallèle  $R_d$  permettant de rendre compte des courants de fuite. Le modèle suppose que le courant électrochimique avant le seuil  $V_s$  est inférieur au courant de fuite de la diode intercalée. Si la diode est orientée dans le sens bloquant pour la polarité de tension utilisée, le seuil est considéré comme infini.

A partir d'une situation initiale où tous les potentiels sont nuls, la croissance du potentiel  $V_r$  appliqué au niveau de l'électrode 506 se traduit par l'apparition d'un faible courant de fuite à travers la résistance  $R_g$  permettant de charger électriquement la plage conductrice 504 : le potentiel  $V$  au niveau de la plage conductrice 504 est égal au potentiel  $V_r$ . Tant que ces potentiels restent inférieurs au seuil  $V_s$ , il n'y a pas de réaction électrochimique. Lorsque les potentiels  $V$  et  $V_r$  atteignent la valeur  $V_s$ , il y a apparition d'un premier courant électrochimique provenant essentiellement de la chimie en solution. Ce courant crée un décalage entre  $V_r$  et  $V$  provenant de la

5 résistance  $R_d$ . Le potentiel  $V$  au niveau de la plage conductrice est donc inférieur au potentiel  $V_r$  appliqué par la source. Cette différence a pour valeur asymptotique  $V_d$  qui correspond au seuil de conduction de la diode.

10 On observe donc que la nouvelle courbe 602 est décalée, et plus précisément translatée d'une valeur  $\delta V$  vers des valeurs de tension plus élevées. Ce décalage est égal à  $V_d$ , seuil de conduction de la diode, pour des courants supérieurs au courant de fuite de la diode. Si le courant de fuite de la diode est inférieur au courant électrochimique maximum avant le démarrage du greffage, le seuil de greffage  $V_g$  pour la famille 512 est décalé de la valeur du seuil de conduction de la diode.

15 En conclusion, dans un bain électrochimique contenant un matériau de garniture donné, il est donc possible d'autoriser sélectivement la garniture de certaines plages dépourvues de moyens de décalage de type diode ou pourvues de moyens de décalage de faible amplitude, tout en interdisant la garniture d'autres plages associées à des moyens de décalage de plus forte amplitude. L'amplitude du décalage est liée au seuil de conduction des diodes. L'application d'une tension 20 identique  $V_r$  par la source se traduira par des tensions  $V$  locales différentes déclenchant ou ne déclenchant pas la garniture selon le choix du maximum de polarisation.

25 Par exemple pour l'exemple illustré figures 7 et 8, supposons que les familles de plage 510 et 512 doivent respectivement recevoir des garnitures A et B. La diode est orientée de manière à être passante pour le signe du potentiel utilisé pour déclencher la

garniture B. Le potentiel de seuil de la diode est choisi supérieur à la largeur du potentiel de garniture de A sur Au. Une tension appliquée de valeur maximale  $V_{sat}[A/Au]$  permettra la garniture de la première  
 5 famille de plages 510 mais ne sera pas suffisant pour la garniture du second groupe de plages 512.

Si le bain électrochimique B suivant est différent, les seuils de garniture  $V_g[B/Au]$  peuvent être plus faibles ou plus élevées que ceux du premier  
 10 bain. Une garniture des plages conductrices non encore garnies peut avoir lieu sous l'application d'une tension de polarisation maximale  $V_{sat}[B/Au] + V_d$ ,  $V_d$  étant de valeur finie de par le choix de l'orientation de la diode.

15 L'association de différentes plages de garniture à différents moyens de sélection à seuil, avec des seuils différents, permet donc bien de distinguer différentes familles de plages conductrices pouvant être garnies sélectivement.

20

#### Mise en œuvre pour les capteurs

La figure 9 représente un exemple de réalisation d'une microstructure 1 pouvant être utilisée dans un capteur de pression pouvant recevoir  
 25 trois fonctionnalisations différentes à sa surface. Elle est réalisée comme celle décrite figure 5 à partir d'un substrat SOI mais comporte des fonctions supplémentaires permettant une fonctionnalisation multiple.

30 Trois types de fonctions peuvent être apportés sur la face supérieure de la microstructure par greffage de polymères :

- la fonctionnalisation de la membrane 104 comme sur la microstructure décrite en relation avec la figure 5, par exemple pour garantir la non cyto-toxicité et l'anti-adhésion cellulaire sous forme d'un premier film 4,
- la réalisation d'un joint d'étanchéité permettant de garantir l'isolation électrique entre les contacts 8, 12 et la zone de la membrane 104 après l'assemblage du capteur sur un support d'interconnexion 402 sous forme d'un second film 7,
- la fonctionnalisation des contacts 8, et 12 pour la connexion électrique par flip-chip sous forme de films 10 et 14 respectivement.

Les contacts 8 et 12 permettent d'atteindre électriquement respectivement la membrane 104 et la partie inférieure 15 du substrat (partie fixe de la capacité formée entre la membrane 104 et la couche inférieure de silicium 15). La détection de la déformation se fait par mesure de la variation de capacité entre ces deux contacts. Il existe d'autres types de microstructures incluses dans des capteurs de pression à déformation comme les capteurs piezorésistifs qui pourraient nécessiter le même type de fonctionnalisation. Pour assurer une planéité parfaite entre les deux contacts 8, 12 ce qui facilite l'assemblage ultérieur, le contact 12 est réalisé sur un plot réalisé sur la même couche de silicium 102 que la membrane 104 mais isolé de celle-ci par une gravure 28 de la couche supérieure de silicium 102. Un pan incliné 710 micro-usiné en extrémité des couches supérieures 102 en silicium monocristallin et de la

couche isolante 16 sur laquelle repose la couche 102, permet d'assurer la connexion entre la couche inférieure de silicium 15 et les plots 12 par simple métallisation d'une piste 20 en surface. Une électrode 5 106c au niveau de la couche inférieure 15 du substrat permet d'adresser l'ensemble des contacts 12.

Dans l'exemple choisi, la partie supérieure 102 de la microstructure 1 est de type p. Une implantation locale 5 de type n est réalisée à la surface de la 10 couche 102. Cette implantation 5 couvre un pan incliné 318 réalisé comme décrit en relation avec la figure 5, situé de façon diamétralement opposée au plan 710 par rapport à la membrane 104, et couvre une zone annulaire de la couche 102 entourant ladite membrane 104. 15 L'implantation 5 autour de la membrane 104 définit une zone annulaire pour la réalisation d'un joint d'étanchéité à sa surface. Une électrode commune 106b réalisée par évaporation d'une couche d'or sur la couche isolante 16 en silice séparant électriquement et 20 mécaniquement les couches conductrices en silicium 102 et 15 permet de relier électriquement toutes les implantations 5 à une source commune de polarisation.

De part cette mise en œuvre, l'électrode commune 106b permet d'adresser l'implantation 5 par 25 l'intermédiaire d'un contact en or 29 couvrant une partie du plan incliné 318 et, via une diode réalisée à partir de la jonction np, la surface en silicium de la membrane 104 et enfin le contact en or 8 au travers de la diode et de la couche 102. La jonction np est une 30 diode passante pour des polarisations négatives. L'inversion des dopages permettrait d'obtenir une diode passante dans le sens inverse.

### Greffage sélectif sur la microstructure

La figure 10 décrit sur un voltammogramme les cycles réalisés pour apporter les différentes garnitures à la microstructure telle que décrite figure 9.

Pour une garniture X donnée, il existe trois courbes de courant en fonction du potentiel appliqué au niveau de la source via l'électrode 106b.

La courbe 800 décrit le voltammogramme pour le greffage de X sur le plot de contact 8. Il est associé à des potentiels  $V_g(X/Au)$  et  $V_{sat}(X/Au)$  décalés de la tension seuil  $V_d$  de la diode soit  $V_g(X/Au) + V_d$  et  $V_{sat}(X/Au) + V_d$  noté 801 sur la courbe. La courbe 802 décrit le voltammogramme pour le greffage de X sur la zone annulaire 5 pour former le joint d'étanchéité sous la forme du second film 7. Ce greffage est associé aux potentiels  $V_g(X/Si)$  et  $V_{sat}(X/Si)$  noté 803 sur la courbe. La courbe 804 décrit le voltammogramme pour le greffage de X sur la membrane 104. Il est associé à des potentiels  $V_g(X/Si)$  et  $V_{sat}(X/Si)$ , décalés par le seuil de la diode, soit  $V_g(X/Si) + V_d$  et  $V_{sat}(X/Si) + V_d$  noté 805 sur la courbe.

La première garniture A sous la forme d'un film 10 est réalisée sur l'ensemble des plots de contact 8 en polarisant l'électrode commune 106b au potentiel 801  $V_{sat}(A/Au) + V_d$ . Ce potentiel n'est pas suffisant pour déclencher la garniture par A des zones implantées 5 en silicium car  $V(X/Au) + V_d$  est inférieur à  $V(X/Si)$ . Les garnitures des membranes 104 en silicium sont également hors d'atteinte d'autant plus à cause de la présence de la diode.

La seconde garniture B est réalisée sur l'ensemble des zones implantées 5 sous la forme d'un film 7 formant joints d'étanchéité 7 en portant l'électrode commune 106b au potentiel  $803 V_{sat}(B/Si)$ .

5 La membrane 104 n'est pas garnie à cause de la présence de la diode. Le plot de contact 8 n'est pas affecté par l'opération car il a été saturé par la garniture A.

La troisième garniture C sous la forme du premier film 4 est réalisée sur l'ensemble des  
10 membranes 104 en portant l'électrode commune 106b au potentiel  $805 V_{sat}(C/Si) + V_d$  correspondant au potentiel nécessaire à la garniture C sur le silicium augmenté du seuil de la diode citée ci-dessus. La zone annulaire 5 ainsi que les plots de contacts 8 ne sont pas affectés  
15 par l'opération.

Pendant ces trois opérations, l'autre électrode commune 106c est maintenue à un potentiel nul. La garniture des contacts 12 se fait séparément à partir d'une garniture A. Elle peut également être effectuée  
20 simultanément au dépôt de la première garniture A en utilisant une source supplémentaire permettant de porter la seconde électrode commune 106c au potentiel  $V_{sat}(A/Au)$ .

Pour la formation d'une garniture donnée, la  
25 polarité du générateur est déterminée par la nature des monomères en solution. C'est elle qui détermine le choix de l'orientation de la diode 508 (figure 7) formée par la jonction np de façon à ce que celle-ci soit polarisée dans le sens passant pour qu'un courant  
30 électrochimique puisse circuler une fois que le seuil de conduction de la diode 508 est franchi. Il est donc

---



nécessaire que les garnitures A et C soient associées à des potentiels de même polarité.

La garniture A correspond par exemple à une couche de PBMA dopé avec des sels d'argent, d'environ  
5 0,5  $\mu\text{m}$  d'épaisseur.

La garniture B correspond par exemple à une couche de Poly Butyl MéthAcrylate (PBMA).

La garniture C correspond par exemple à une couche de poly-(PEG-diméthacrylate) d'environ 0,5  $\mu\text{m}$   
10 d'épaisseur.

Ces couches sont formées dans des bains de butyle méthacrylate et de PEG diméthacrylate, respectivement, dans la diméthyl formamide (DMF) en présence de perchlorate de tétraéthyl ammonium comme  
15 électrolyte support. Ces trois garnitures sont associées à des polarités négatives ce qui est cohérent avec l'exemple d'implantation donnée pour la microstructure 1 de la figure 9.

## 20 Possibilité de tests des microstructures

Pour éviter le recours à des implantations de la couche 102, on peut aussi réaliser la zone annulaire  
5 conductrice autour de la membrane 104 par dépôt d'une couche d'un autre matériau conducteur de l'électricité  
25 (comme par exemple le cuivre) différent, au sens d'une réaction électro-initiée, de l'or et du silicium utilisés pour les contacts 8 et la membrane 104 respectivement, afin de sélectivement obtenir les trois fonctionnalisations différentes.

30 La configuration décrite en relation avec la figure 9 quand le dopage n'est pas utilisé pour réaliser la zone annulaire ou la configuration de la

figure 5, rendent difficile le test des microstructures 1 avant découpe de la plaquette 100 : ce test ne peut se faire que si les couches supérieures 102 des microstructures 1 sont électriquement isolées les unes des autres, les parties inférieures 15 étant par construction reliées entre elles sur une plaquette 100.

La mise en œuvre suivante permet de répondre à ce besoin. La connexion des différentes couches supérieures 102 des microstructures 1 à l'électrode commune 106b se fait via le plot dit plot d'électrode 29 réalisé sur une implantation 5 de dopage de type opposé à celui de la partie supérieure 102. La diode ainsi créée est choisie de manière à être passante lors des différentes opérations de garniture. La configuration de la figure 9 possède directement cette propriété, le plot 29 pouvant être considéré comme un plot d'électrode.

Ainsi, pour ces différentes configurations comportant un plot d'électrode 29, lors d'une phase de test, on utilise une configuration électrique permettant de maintenir entre l'électrode commune 106b pour la configuration figure 9 et les membranes 104 une tension inverse permettant de bloquer les diodes. Le blocage des diodes a alors pour effet d'isoler électriquement les différentes membranes 104 d'une structure à l'autre.

De manière pratique, le test des différentes microstructures 1 présentes sur la plaquette 100 est réalisé à partir d'un circuit de mesure externe comportant différents points de mesure ou d'alimentation destinés à être reliés aux contacts 8 et 12 reliés chacun respectivement à une armatures d'une

capacité formée entre les couches supérieures 102 et la couche inférieure 15. Le contact 8 est relié à l'armature 102 et le contact 12 à l'armature formée par la partie de couche 15 en regard de la couche 102. Les tensions sont mesurées par rapport à une référence choisie dans le circuit externe. Une tension supplémentaire, dites de polarisation, choisie en valeur absolue supérieure ou égale à toutes les autres tensions utilisées, est appliquée sur l'électrode 106b ou plus généralement sur le plot d'électrode 29. Son signe est opposé à celui utilisé pour l'opération de garniture : elle permet donc de bloquer les différentes diodes 508. Dans cette configuration, aucun courant ne circule entre les plots par l'intermédiaire du circuit de polarisation : le composant est fonctionnel et peut être testé ou utilisé normalement. L'application des tensions de test peut avoir lieu par l'intermédiaire d'un sabot de test.

En conclusion, les implantations peuvent donc être utilisées même sur la configuration de la microstructure décrite figure 5 ou quand de manière plus générale seule la sélectivité par les matériaux est utilisée, pour permettre le test des microstructures avant découpage de la plaquette.

25

#### Mise en œuvre pour un support d'interconnexion

La figure 11 décrit un substrat d'interconnexion 402 pouvant être utilisé pour l'assemblage mécanique et électrique individuel d'une microstructure 1 telle que décrite figure 9. La partie A représente une coupe transversale du support et la partie B une vue de dessus.

L'exemple donné correspond à un support fonctionnellement identique au support utilisé pour réaliser un microsystème de mesure de pression tel que décrit figure 6. Ce support est réalisé de manière collective sur une plaquette de silicium 900 de type n permettant de garantir une conductivité minimum typique de 10  $\Omega$ .cm. Cette plaquette peut être amincie suivant les techniques connues ce qui permet d'obtenir une épaisseur typique inférieure à 100  $\mu$ m. L'antenne 902 est réalisée par dépôt d'une couche d'or isolée du substrat principal 900 par une couche de silice 904. Quatre plots de contact 906 servent à connecter un ASIC 400 par exemple tel que décrit dans la figure 6. Les plots 908 sont utilisés pour la connexion électrique avec les plots 8, 12 de la microstructure 1 telle que représentée figure 9. Ces plots 908, 906 sont réalisés sur des implantations locales 910 de type p traçant également les pistes électriques du support 402. Un contact 916 est relié directement au substrat 900 sans dopage intercalaire. Le support comprend un évidement circulaire 405 obtenu par un usinage.

Dans cette configuration, le substrat conducteur 900 est utilisé comme électrode commune. Le dessous du substrat 900 comporte un dépôt métallique 918 permettant d'homogénéiser la résistance de l'électrode commune si la conductivité du substrat 900 n'est pas suffisante. La fonctionnalisation du support 402 par électrogreffage s'effectue au minimum en trois étapes pour déposer les garnitures A' et B' complémentaires de celles utilisées pour la microstructure 1 représentée figure 9.

Dans une première étape, le potentiel appliqué permet de fonctionnaliser le plot 916 avec une garniture A'. La partie non dopée de la face de dessus du substrat 900 n'est pas affectée car le silicium  
5 demande un potentiel plus élevé. La partie dopée 910 et les contacts 906 et 908 sont en plus protégés par la diode entre le substrat 900 et la partie implantée 910.

Dans une seconde étape, une garniture A' est réalisée sur les contacts 908 et 916. Cette étape  
10 requiert un potentiel plus élevé à cause de la diode. La partie non dopée de la face de dessus du substrat 900 n'est pas affectée car le greffage sur silicium requiert un potentiel plus élevé que le potentiel de greffage sur l'or augmenté du décalage de la diode.

Dans une troisième étape, le potentiel appliqué permet de fonctionnaliser le reste de la face de dessus du substrat 900 avec une garniture B'. La partie dopée  
15 910 et les contacts 906 et 908 sont protégés par la diode.

L'orientation des diodes est déterminée par la polarité de la garniture A'. Dans notre exemple, cette polarité est négative. Il est possible lors d'une  
20 quatrième étape de recouvrir les zones dopées 910 pour finir l'isolation du support. Dans notre exemple, A' est choisi identique à A et B' identique à B.

Le plot 916 est utilisé pour polariser positivement dans l'exemple donné le substrat à partir d'une tension fournie par l'ASIC 400. Cette tension, par exemple la tension maximum d'alimentation utilisée  
30 dans le composant électronique 400 pour la polarisation des transistors, permet de garantir l'isolation électrique entre les différents contacts 906 et 908 en

cours de fonctionnement du microsystème. Il a été vérifié que la présence des diodes supplémentaires ne modifie pas la fonctionnalité du microsystème tel que décrit au dessus, y compris dans les phases  
5 transitoires.

L'ASIC 400 peut également, lorsque la compatibilité des technologies le permet, être directement réalisé sur la couche 900 du support 402 pour éviter une interconnexion supplémentaire.

10

#### Produit obtenu

La figure 12 est une coupe schématique d'un microsystème 200 réalisé par l'assemblage d'un support 402 tel que décrit sur la figure 11 après  
15 fonctionnalisation avec une microstructure 1 telle que décrite sur la figure 9 après fonctionnalisation et un composant électronique classique 400 assemblé par wire-bounding.

L'ASIC 400 est relié au support 402 par des  
20 fils d'or 1010 thermosoudés (wire-bounding classique) comme indiqué sur la figure. Cette opération peut également être réalisée par flip-chip classique. La microstructure 1 est assemblée sur le support 402 par légère compression et chauffage pour permettre la  
25 thermofusion des garnitures en regard. L'assemblage se fait via les garnitures 10, 14 des contacts 8, 12 respectivement de la microstructure 1 et les garnitures correspondantes du support déposées sur les plots 908. Ceci permet d'établir les contacts électriques en 1006.  
30 L'assemblage se fait aussi via la garniture 7 de la zone annulaire 5 de la microstructure 1 et la garniture correspondante du substrat 900 du support 402 autour de

---

l'ouverture 405. Ceci permet d'établir un joint d'étanchéité en 1008. La face arrière du composant est noyée dans une résine 1012. On peut vérifier que dans cette configuration, la partie électrique du microsystème est effectivement isolée du milieu environnant alors que la membrane 104 de la microstructure 1 est en contact avec ce dernier via la garniture 4.

#### 10 Méthode pour assembler un ASIC

Pour des soucis d'homogénéité du procédé, il peut être avantageux d'utiliser la même technique d'interconnexion électrique pour l'ASIC 400 associé à la microstructure 1 d'un microsystème. A cause de la rugosité de la surface d'un tel composant, il est difficile d'utiliser un composant standard sans des opérations supplémentaires de traitement de surface pour préparer l'assemblage. La figure 13 décrit une autre approche qui repose sur les technologies connues de "chip size package". Ces technologies utilisent une plaquette intermédiaire 1100 collée à une plaquette active 1102 comportant les ASICs 400 par wafer-bonding pour fournir une nouvelle couche d'interface avec l'extérieur. Le premier objectif connu de l'utilisation d'une telle technique est de transformer des plots de contacts 1104 de faible dimension en des plots standards 1110 et de fournir un boîtier intégré. Différentes solutions connues existent pour effectuer ce type de composant. La référence 7 décrit par exemple comment réaliser de manière collective le capot silicium 1100 au dessus du composant 1102 en reportant

les contacts 1104 du composant à la surface du capot en 1110.

Il est possible de greffer les garnitures nécessaires pour l'assemblage du composant sur cette  
5 seconde plaquette 1100 en utilisant les mêmes principes que ceux décrit pour le support d'interconnexion 402. L'électrode commune est réalisée par le substrat 1100 et des implantations locales 1108 permettent d'assurer l'isolation entre contacts 1110 lorsque le substrat est  
10 porté au potentiel adéquat par l'intermédiaire du contact 1112. Pour des raisons de tenue en température, il est préférable de réaliser le traitement après l'assemblage des deux plaquettes 1102 et 1100.

L'intérêt de cette mise en œuvre est alors de  
15 fournir une solution alternative pour l'ASIC 400 à l'assemblage par billes fusibles, de mise en œuvre facile (faible température d'assemblage, pas de problème de nettoyage de la surface après l'opération, en particulier pour éliminer le flux présent dans les  
20 billes fusibles, ...) et permettant d'augmenter la densité de contacts.

#### Produit obtenu

La figure 14 est une coupe schématique  
25 transversale d'un microsystème 200 réalisé par l'assemblage d'un support d'interconnexion 402, tel que décrit sur la figure 11, après fonctionnalisation, avec une microstructure 1, tel que décrit sur la figure 9, après fonctionnalisation, et un ASIC 400 tel que décrit  
30 sur la figure 13, après fonctionnalisation.

L'assemblage de la microstructure 1 sur le support d'interconnexion 402 est identique à ce qui a

---



été décrit en liaison avec la figure 12. L'assemblage de l'ASIC 400 tel que représenté figure 13 est réalisé par l'intermédiaire de garniture déposée sur les plots 1110 de l'ASIC 400 et de garniture déposée sur les plots 906 du support 402 disposés en regard les uns des autres. La garniture respectivement des plots de l'ASIC 400 et des plots du support 402 sont de type A et A', thermofusible conductrice.

## DOCUMENTS CITES

[1] Development of a completely encapsulated intraocular pressure sensor, Walter P. et al, Ophthalmic Research (2000), 32, p 278-284.

5

[2] Microfluidic plastic capillaries on silicon substrates : a new inexpensive technology for bioanalysis chips, P. F. Man et al, présenté à la conférence MEMS 1997, Jan. 26-30 1997, Nagoya, Japan.

10 [3] Delamarche E., Michel B., Gerber Ch., Langmuir (1994), 10, p 2869 et

[4] Kumar A., Whitesides G.M., Applied Physics Letters (2002), 63, p 1993

[5] WO 0057467

15 [5] US 6,137,183

[6] Miniature pressure acquisition microsystem for wireless in vivo measurements, Renard S. et al, présenté à 1st annual international IEEE EMBS Special topic conference on microtechnologies in medicine and  
20 biology, October 12-14, à Lyon en France

[7] FR 97014608

---

## REVENDICATIONS

1. Microstructure électromécanique 1 comprenant une première partie appelée partie mécanique 102 réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité, et qui comprend d'une part une zone déformable de manière élastique 104 ayant une valeur d'épaisseur et une surface exposée 2, et d'autre part un premier film organique 4 ayant une épaisseur, présent sur l'ensemble de la surface exposée 2 de la dite zone déformable 104, caractérisé en ce que l'épaisseur du premier film 4 est telle que la réponse élastique de la zone déformable 104 munie du premier film 4 ne change pas de plus de 5% par rapport à la réponse de la zone déformable nue 104 ou en ce que l'épaisseur du premier film 4 est inférieure à dix fois l'épaisseur de la zone déformable 104.

2. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'épaisseur du premier film 4 est telle que la réponse élastique de la zone déformable 104 munie du premier film 4 ne change pas de plus de 1%.

3. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 2, caractérisée en ce que le premier film 4 est constitué d'un film organique lié de façon covalente à la surface exposée 2 de la zone déformable 104.

4. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 3, caractérisée en ce que le premier film 4 est constitué d'une couche d'une molécule de longueur fixe liée de manière covalente à la surface exposée 2 de la zone déformable 104 et en ce que le premier film

4 est réalisé dans une matière qui peut être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.

5 5. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 4, caractérisée en ce que le taux de couverture de la surface exposée 2 par le premier film 4 est supérieur à 60%.

6. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 4, caractérisée en ce que le taux de couverture de la surface exposée 2 par le premier film 10 4 est supérieur à 90%.

7. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 4 à 6, caractérisée en ce qu'elle comporte à la surface de la partie mécanique 102, une zone annulaire 5, entourant la surface exposée 15 2, ayant elle-même une surface 6 et réalisé dans un deuxième matériau conducteur de l'électricité, différent au sens de la réaction électro-initiée du premier matériau de la partie mécanique 102, et en ce qu'un deuxième film organique 7 est présent sur la 20 surface 6 de la dite zone annulaire 5, ce deuxième film 7 étant un film réalisé dans une matière pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

8. Microstructure électromécanique 1 suivant 25 l'une des revendications 4 à 6, caractérisée en ce que le premier matériau constituant la partie mécanique 102 est un semi-conducteur dopé et en ce qu'elle comporte à la surface de la partie mécanique 102, une zone annulaire 5, entourant la surface exposée 2, ayant 30 elle-même une surface 6 et réalisé dans un deuxième matériau réalisé par dopage de type opposé à celui du premier matériau et en ce qu'un deuxième film organique

---

7 est présent sur la surface 6 de la dite zone annulaire 5, ce deuxième film 7 étant un film réalisé dans une matière pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

5            9. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 7 à 8, caractérisée en ce que la partie mécanique 102 comporte un ou plusieurs plots de contact 8 sur une position extérieure à la zone annulaire 5.

10           10. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 7, caractérisée en ce que la partie mécanique 102 comporte un ou plusieurs premiers plots de contact 8 ayant une surface 9 réalisés dans un troisième matériau, différent au sens de la réaction  
15 électro-initiée des premier et deuxième matériaux, sur une position extérieure à la zone annulaire 5 et en ce qu'un troisième film organique 10 est présent à la surface 9 des premiers plots de contact 8, ce troisième film 10 étant un film réalisé dans une matière pouvant  
20 être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

            11. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 8, caractérisée en ce que la partie mécanique 102 comporte un ou plusieurs premiers plots  
25 de contact 8 ayant une surface 9 réalisés dans un troisième matériau, différent au sens de la réaction électro-initiée du premier matériau, sur une position extérieure à la zone annulaire 5 et en ce que un troisième film organique 10 est présent à la surface 9  
30 des premiers plots de contact 8, ce troisième film 10 étant un film réalisé dans une matière pouvant être

déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

12. Microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 10 à 11, caractérisée en ce qu'elle comporte une deuxième partie 11 conductrice de l'électricité, isolée électriquement et mécaniquement solidaire de la partie mécanique 102 comportant un ou plusieurs deuxièmes plots de contact 12 ayant une surface 13 réalisés dans un matériau différent au sens de la réaction électro-initié du matériau constitutif de la deuxième partie 11 et en ce que un quatrième film organique 14 est présent à la surface 13 des deuxièmes plots de contact 12, ce quatrième film 14 étant un film réalisé dans une matière pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

13. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 12, caractérisée en ce qu'elle comporte une troisième partie 15, mécaniquement solidaire des première et deuxième parties mécanique 102 et 11, isolée électriquement de la première partie mécanique 102, réalisée dans un matériau conducteur de l'électricité et en ce que la deuxième partie et la troisième partie sont électriquement reliées.

14. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 12, caractérisée en ce que la première partie 102 est constituée par une première couche de silicium, et en ce que les première et deuxième parties 102 et 11 sont solidaires d'une même couche isolante 16.

15. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 13, caractérisée en ce que la première partie 102 est constituée par une première couche de

---

silicium monocristallin, et en ce que les première et deuxième parties 102 et 11 sont solidaires d'une même couche isolante 16 et en ce que la troisième partie 15 est constitué par une deuxième couche de silicium sur lequel repose la dite couche isolante 16.

16. Microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisée en ce que la couche isolante 16 comporte un évidement 18 situé immédiatement sous la zone déformable 104.

10 17. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 7 ou 10, caractérisée en ce que le premier matériau constituant la partie mécanique 102 est un semi-conducteur dopé et en ce qu'un dopage de type opposé à celui du premier matériau définit un plot d'électrode 19 à la surface de la partie mécanique 102 en dehors de la surface exposée 2.

18. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 17, caractérisée en ce que le premier film organique 4 est dans un matériau tel que la surface exposée 2 de la zone déformable 104 couverte de ce film 4 présente des fonctions de biocompatibilité, de non cyto-toxicité et/ou d'anti-adhésion ou anti-prolifération cellulaire.

19. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 7 à 17, caractérisée en ce que le deuxième film 7 est une film présentant des fonctions de biocompatibilité et de non cyto-toxicité.

20. Capteur de pression incorporant une microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 19.

21. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon l'une des revendications 1 à 7

ou selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106a reliant électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles.

5           22. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106b reliant électriquement toutes les zones annulaires 5 entre elles et en ce que la  
10 polarité nécessaire pour électro-initier le premier film 4 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens zone annulaire 5 vers zone déformable 104 de la partie mécanique 102.

          23. Plaquette 100 comportant un ensemble de  
15 microstructures 1 selon la revendication 8 ou la revendication 11, caractérisée en ce que qu'elle comporte une première électrode commune 106a reliant électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles et en ce que la polarité nécessaire pour électro-  
20 initier le deuxième film 7 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens de la zone déformable 104 vers la zone annulaire 5 de la partie mécanique 102.

          24. Plaquette 100 comportant un ensemble de  
25 microstructures 1 selon la revendication 11, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106b reliant électriquement toutes les zones annulaires 5 entre elles et en ce que la polarité nécessaire pour électro-initier les premier et  
30 troisième films 4 et 10 est identique et correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le

---



sens zone annulaire 5 vers la zone déformable 104 de la partie mécanique 102.

25. Plaquette 100 selon l'une des revendications 21 à 24 comportant un ensemble de microstructures 1 selon l'une des revendications 12 à 13 caractérisée en ce qu'elle comporte une deuxième électrode commune 106c réalisée en surface de la plaquette 100 reliant électriquement toutes les deuxièmes parties 11.

10 26. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon la revendication 17, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106d reliant électriquement toutes les plots d'électrodes 19 et en ce que la polarité 15 nécessaire pour électro-initier les films organiques 4, 7, 10 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens du plot d'électrode 19 vers la partie mécanique 102.

20 27. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 1 à 6, assemblée électriquement face avant retournée sur un support d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la partie déformable 104 25 de la microstructure 1.

28. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 7 à 9, assemblée électriquement face avant retournée sur un support 30 d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la zone déformable 104 de la microstructure 1, le film 7 de la zone annulaire 5

sens zone annulaire 5 vers la zone déformable 104 de la partie mécanique 102.

25. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon l'une des revendications 12 à 13, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106a reliant électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles et une deuxième électrode commune 106c réalisée en surface de la plaquette 100 reliant électriquement toutes les deuxièmes parties 11.

26. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon la revendication 17, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106d reliant électriquement toutes les plots d'électrodes 19 et en ce que la polarité nécessaire pour électro-initier les films organiques 4, 7, 10 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens du plot d'électrode 19 vers la partie mécanique 102.

27. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 1 à 6, assemblée électriquement face avant retournée sur un support d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la partie déformable 104 de la microstructure 1.

28. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 7 à 9, assemblée électriquement face avant retournée sur un support d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la zone déformable 104 de la microstructure 1, le film 7 de la zone annulaire 5.

de la microstructure 1 étant dans une matière isolante thermofusible et venant en contact avec un substrat 900 du support 402 pour réaliser un joint d'étanchéité 1008 autour de la zone déformable 104 de la microstructure 1.

29. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 10 à 13, assemblée électriquement face avant retournée sur un support d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la zone déformable 104 de la microstructure 1, le film 7 de la zone annulaire 5 de la microstructure 1 étant dans une matière isolante thermofusible et venant en contact avec un substrat 900 du support 402 pour réaliser un joint d'étanchéité 7 autour de la zone déformable 104 de la microstructure 1, le film 10 ou 14 des plots de contact 8 ou 12 de la microstructure 1 étant dans une matière conductrice thermofusible et venant en contact de plots 908 du support 402 pour réaliser une connexion mécanique et électrique 10, 14 entre la microstructure 1 et le support 402.

30. Microsystème 200 selon la revendication 29 caractérisé en ce que des plots de contact 908 du support 402 comporte un film réalisé dans une matière thermofusible conductrice obtenue à partir d'une réaction électro-initié, ces plots recouverts venant en contact des films 10, 14 des plots de contact 8, 12 de la microstructure 1 pour assurer une connexion électrique et mécanique entre le support 402 et la microstructure 1 par thermosoudage.

31. Microsystème 200 selon l'une des revendications 28 à 30 caractérisé en ce qu'un substrat 900 du support 402 comporte un film réalisé dans une matière thermofusible isolante obtenue à partir d'une réaction électro-initié, une partie du substrat 900 recouvert venant en contact du film 7 de la zone annulaire 5 de la microstructure 1 pour former un joint d'étanchéité 1008 autour de la zone déformable 104 de la microstructure 1 par thermosoudage.
32. Microsystème 200 selon l'une des revendications 27 à 31 caractérisé en ce que le support 402 est réalisé à partir d'une plaquette en silicium, et en ce qu'il comporte un antenne de couplage 902 connectée à un composant électronique dédié 400 lui-même assemblé sur le support 402.

1/9

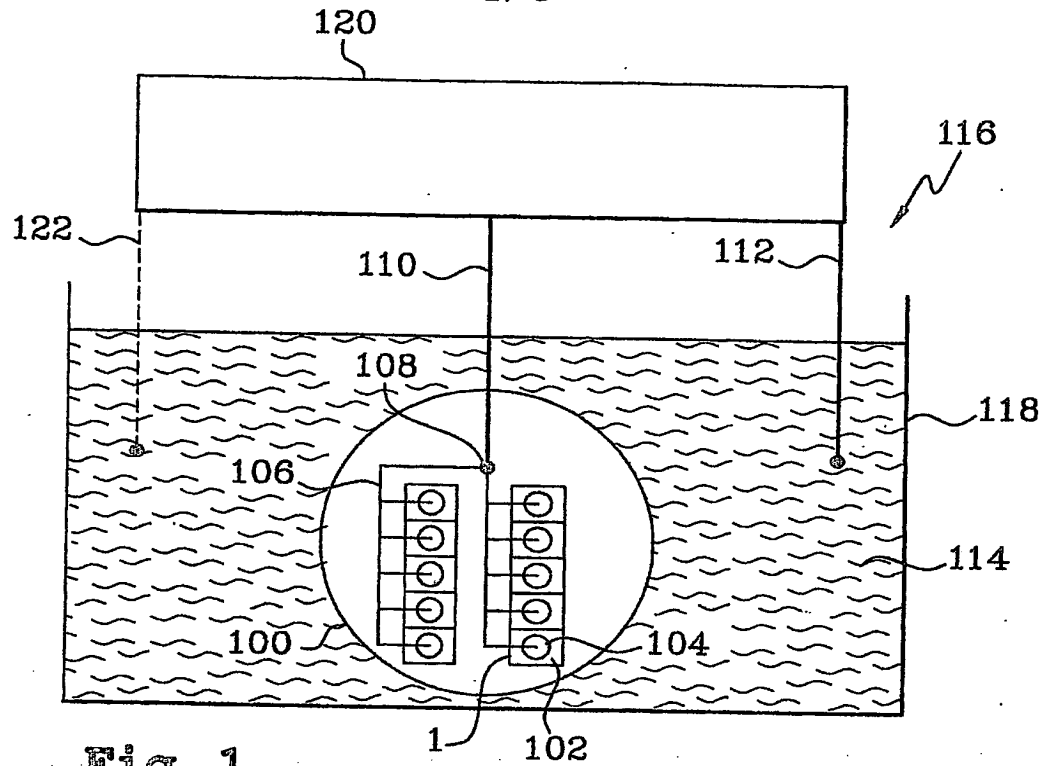


Fig. 1

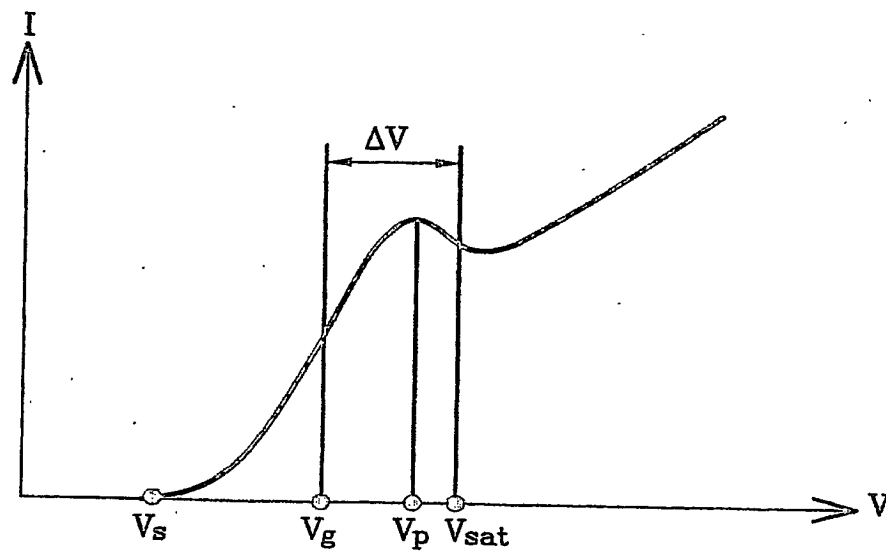
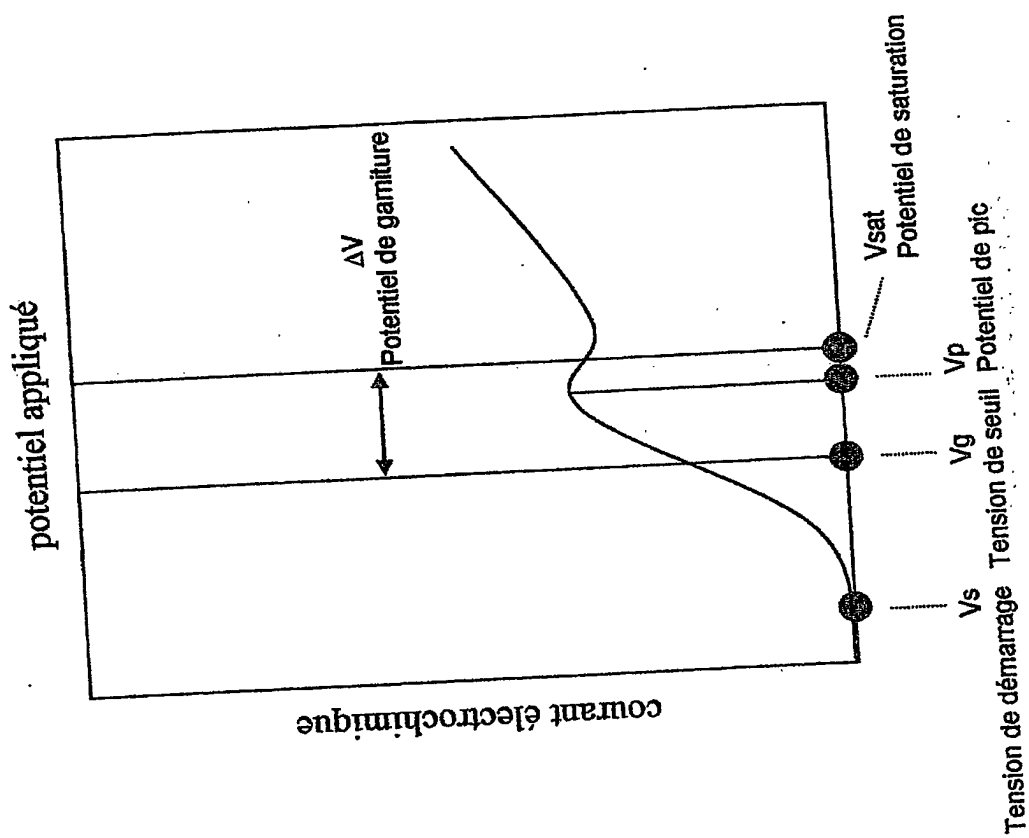


Fig. 2

Figure 2



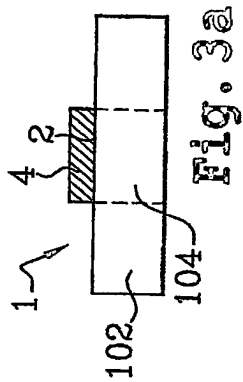


Fig. 3a

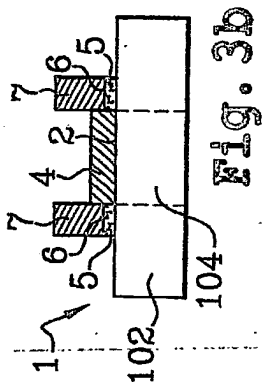


Fig. 3b

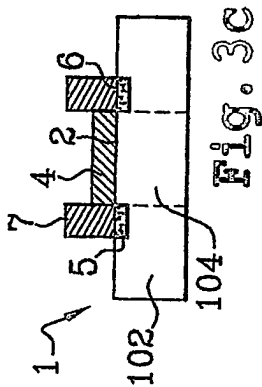


Fig. 3c

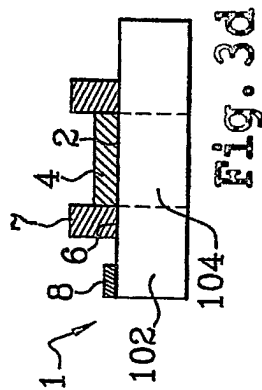


Fig. 3d

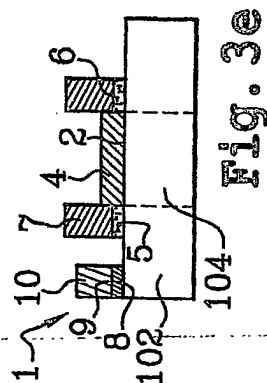


Fig. 3e

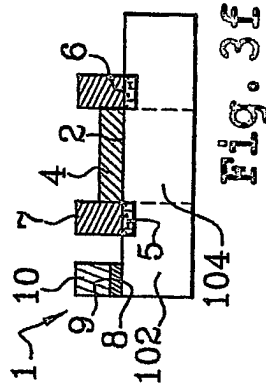


Fig. 3f

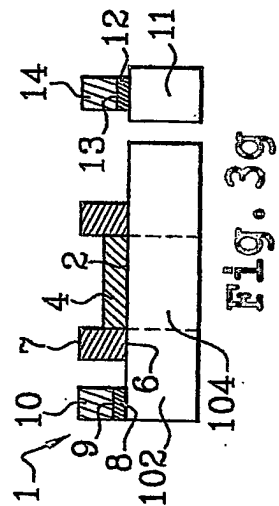


Fig. 3g

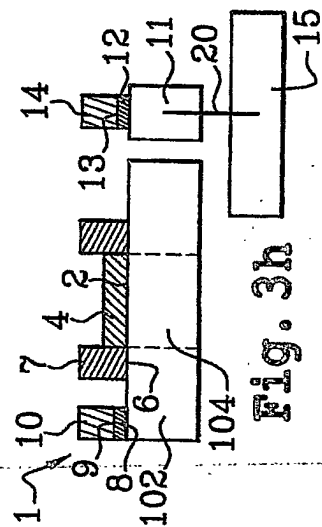


Fig. 3h

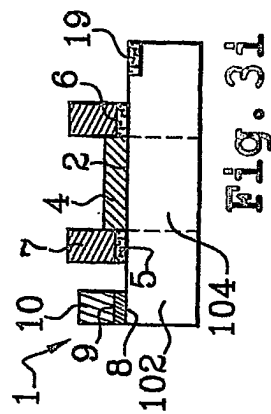
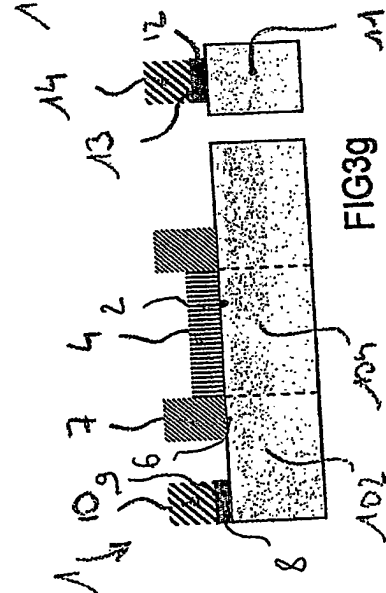
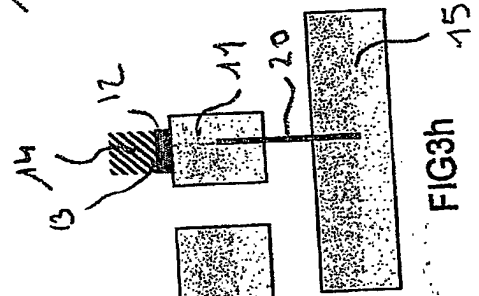
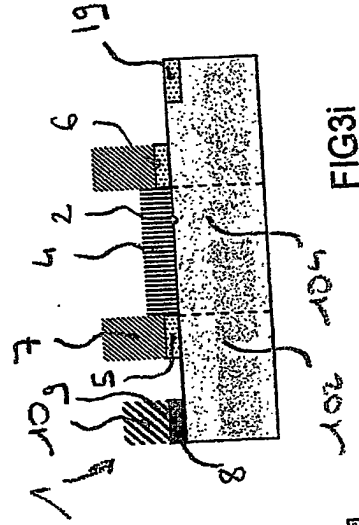
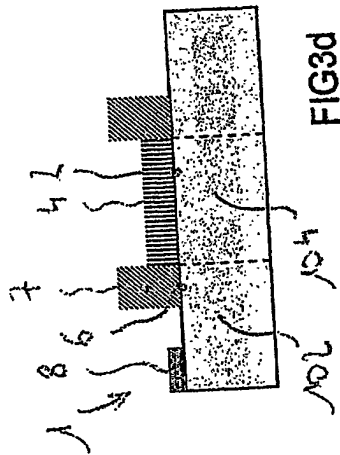
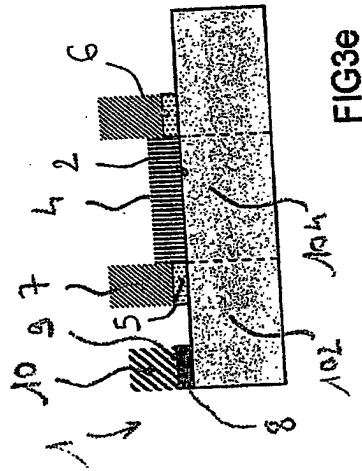
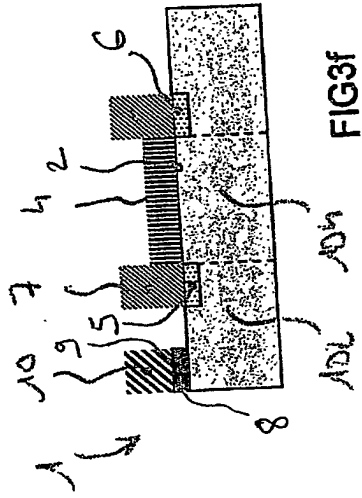
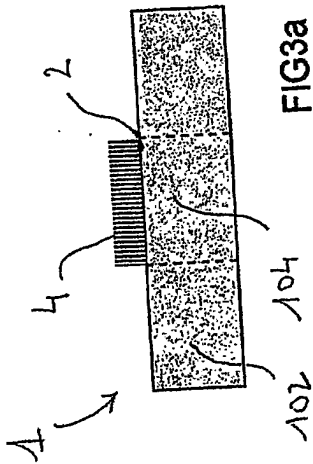
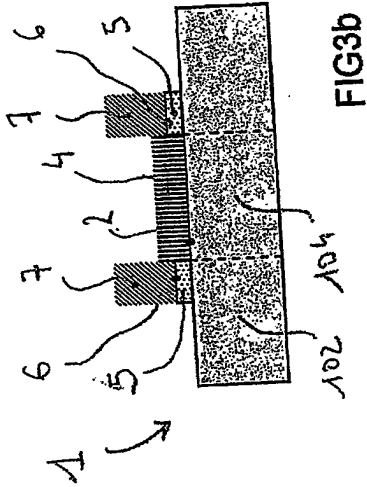
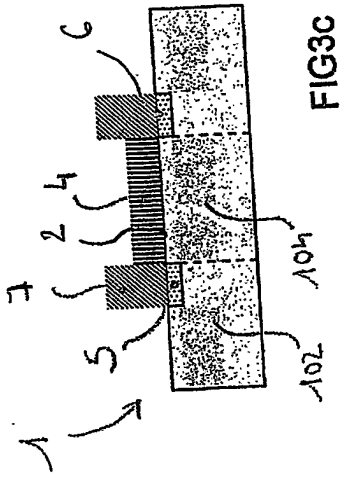


Fig. 3i





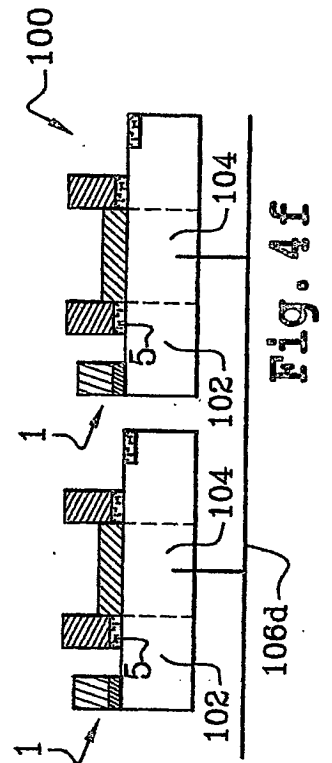
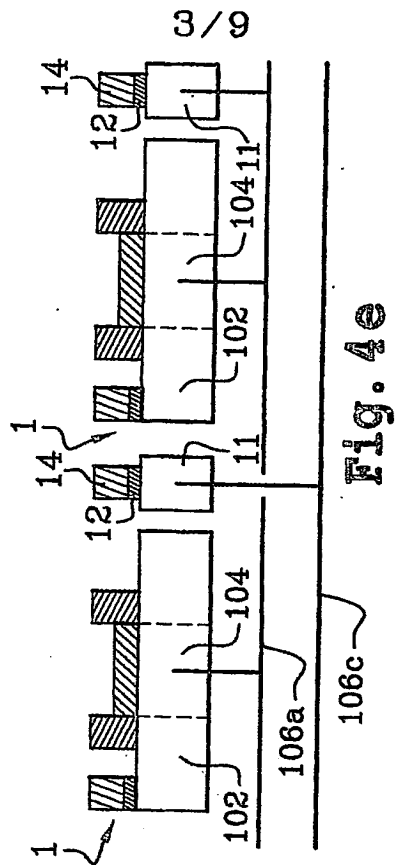
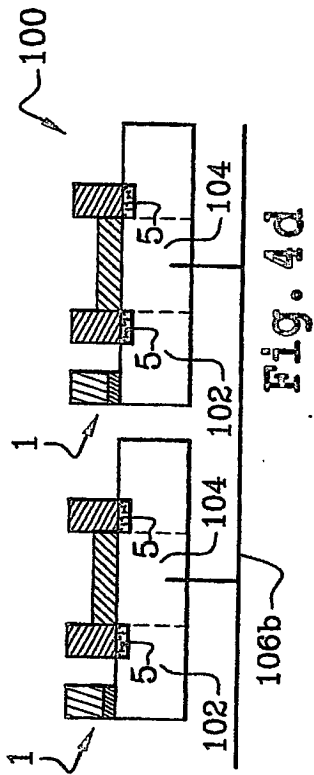
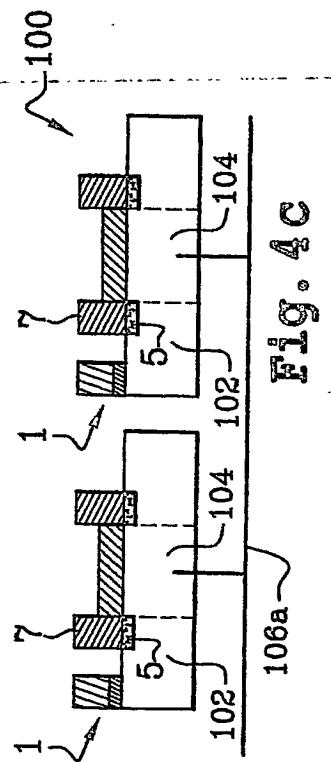
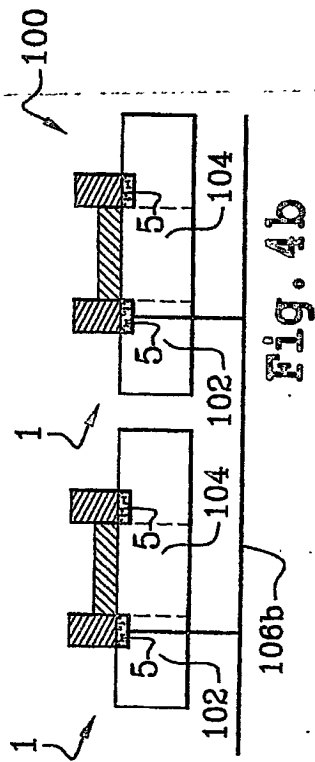
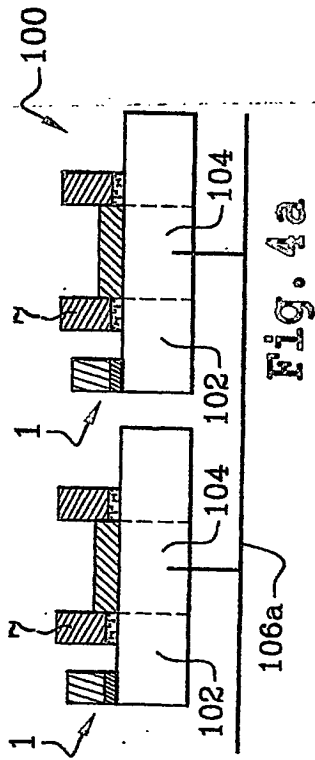
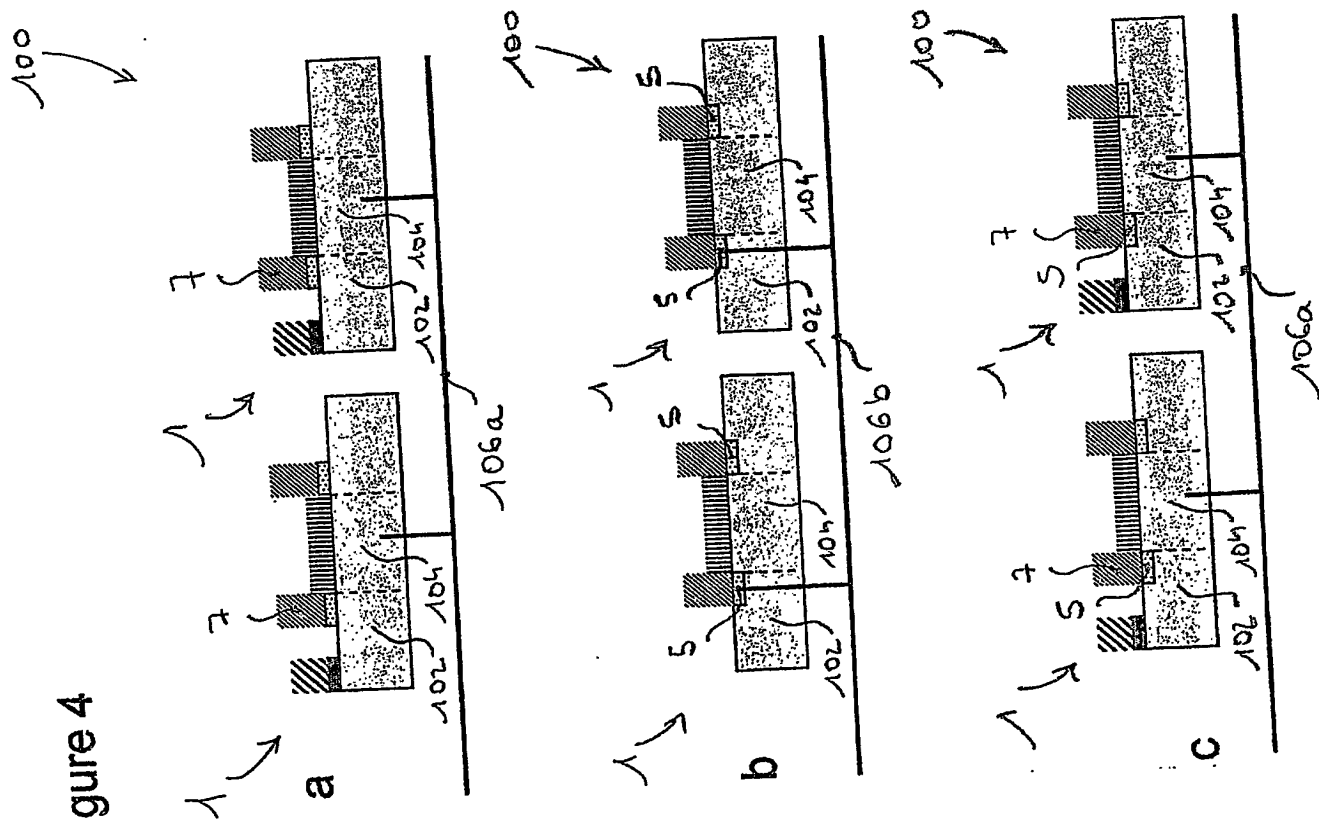
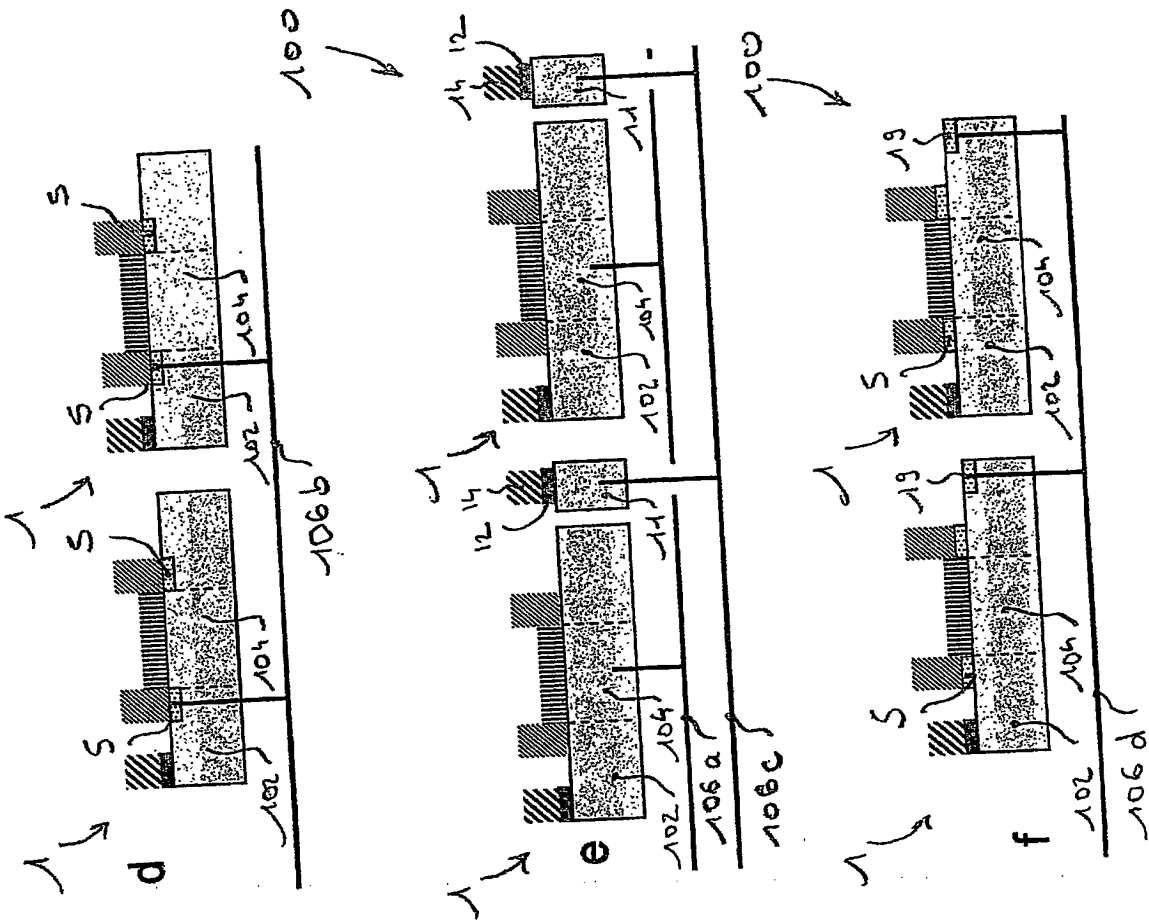


Figure 4



4/14



4/9

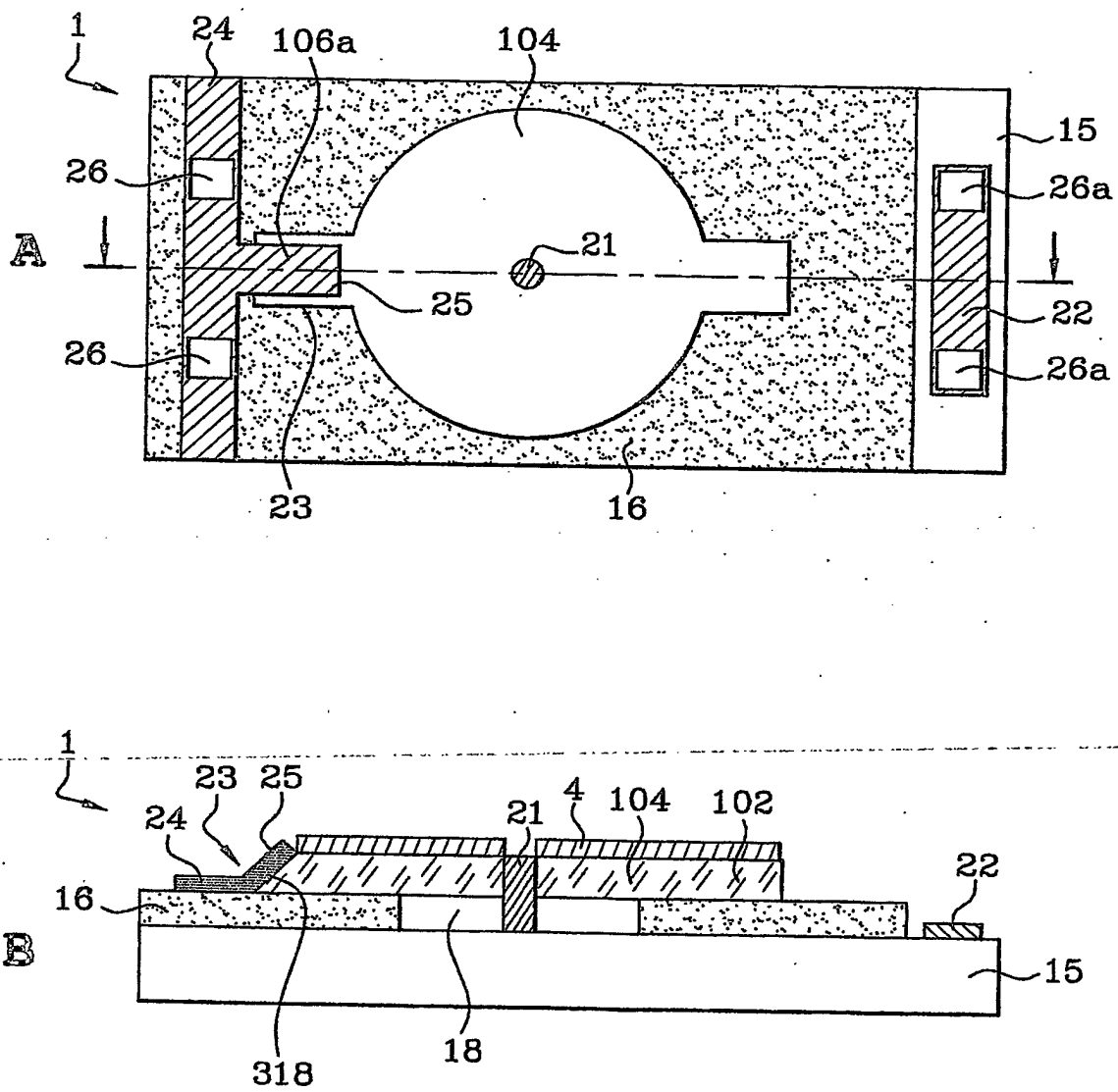
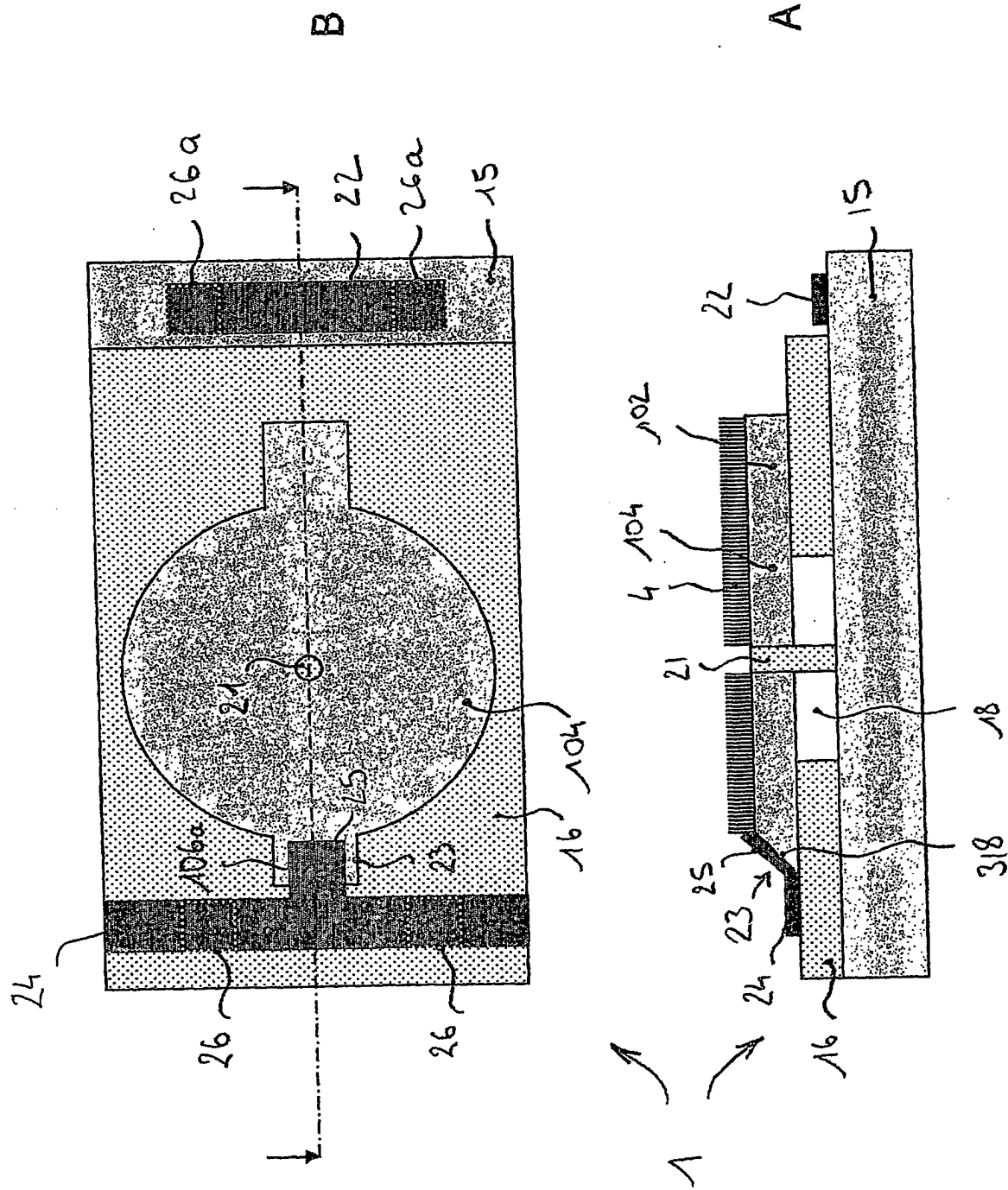


Fig. 5

Figure 5



5/9

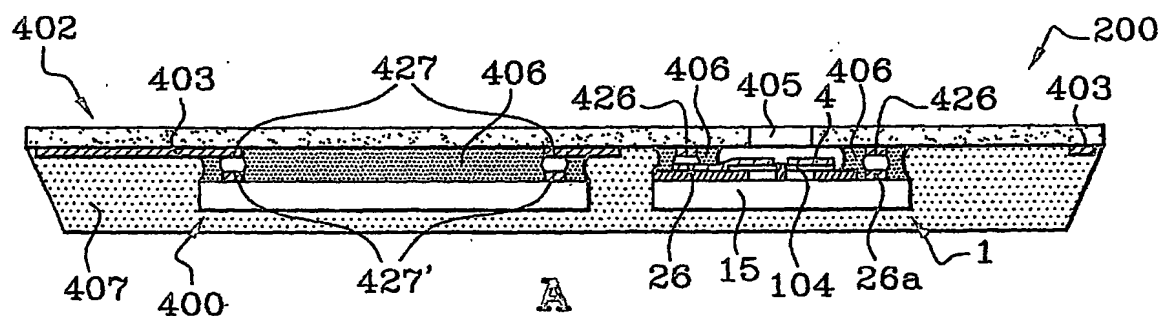
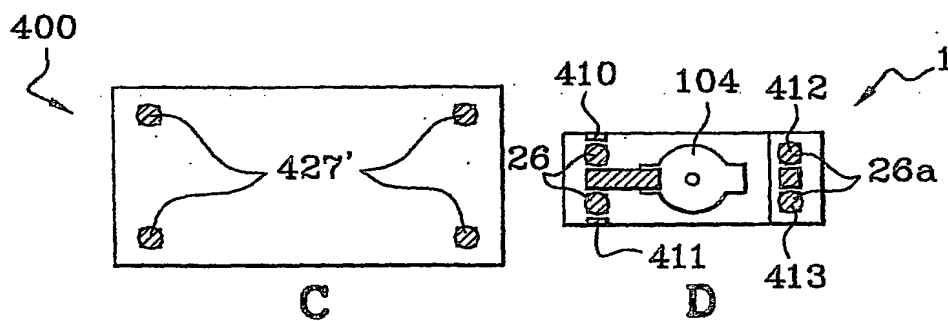
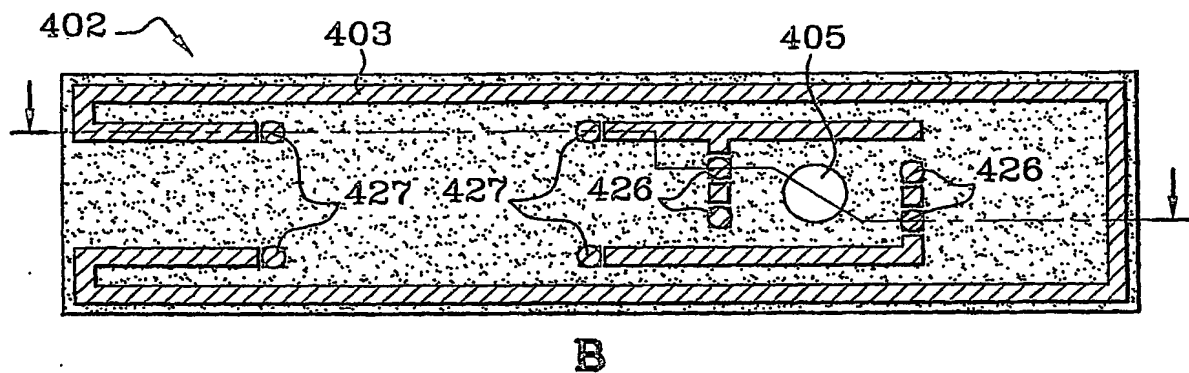
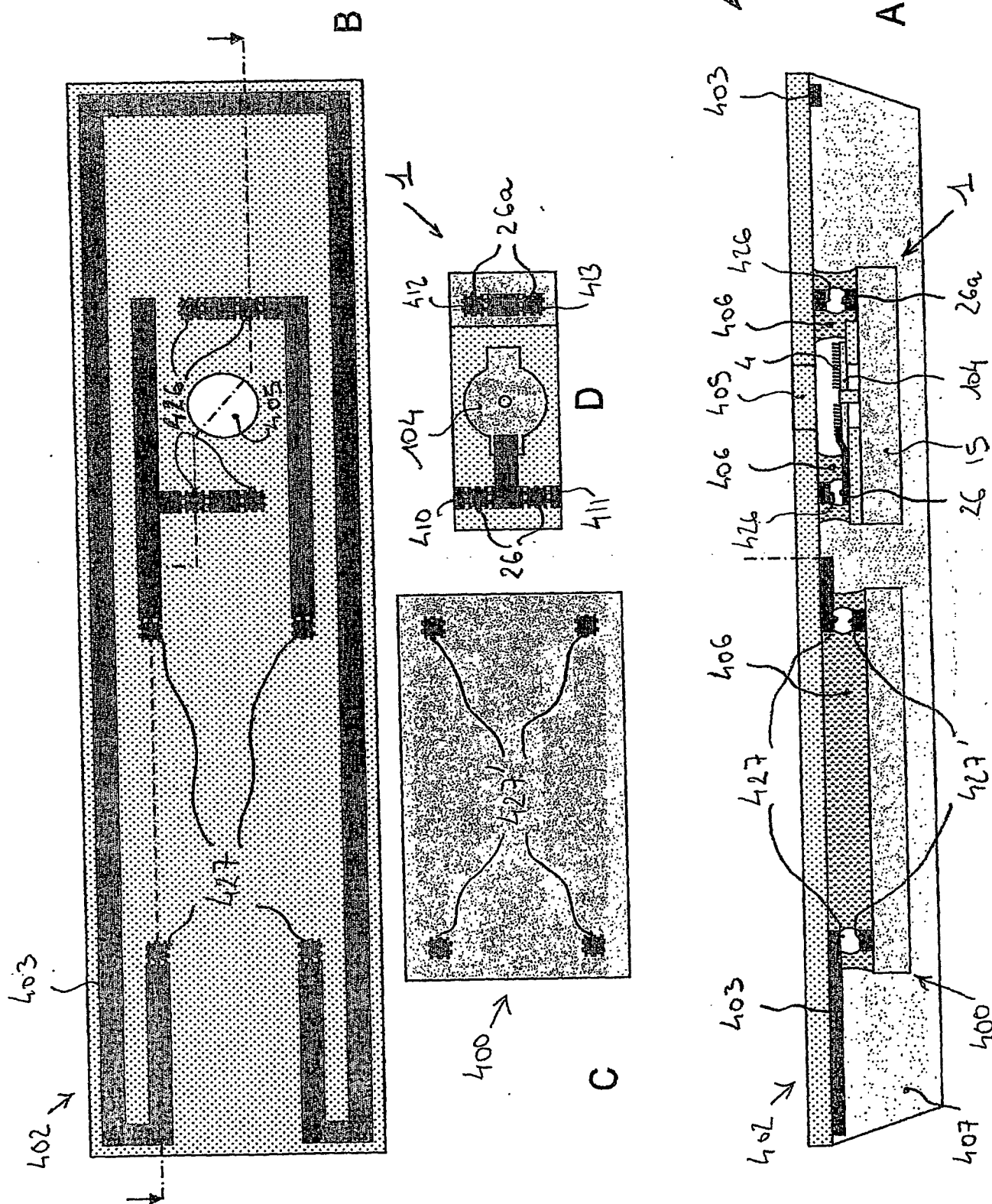


Fig. 6

Figure 6



6/9

A

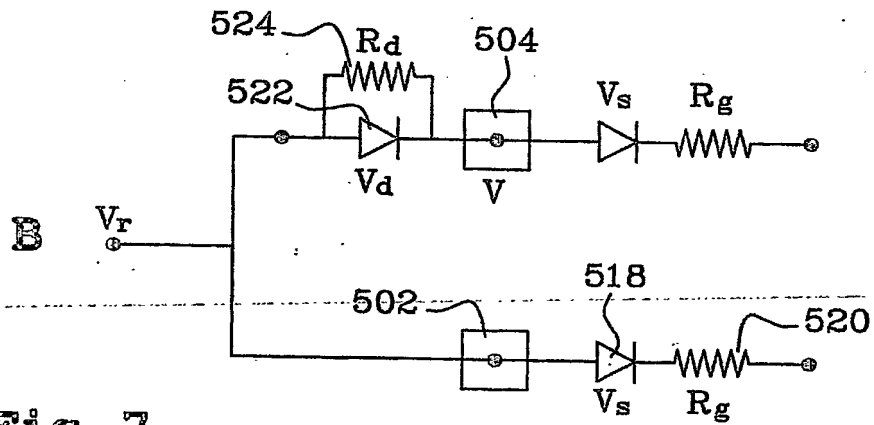
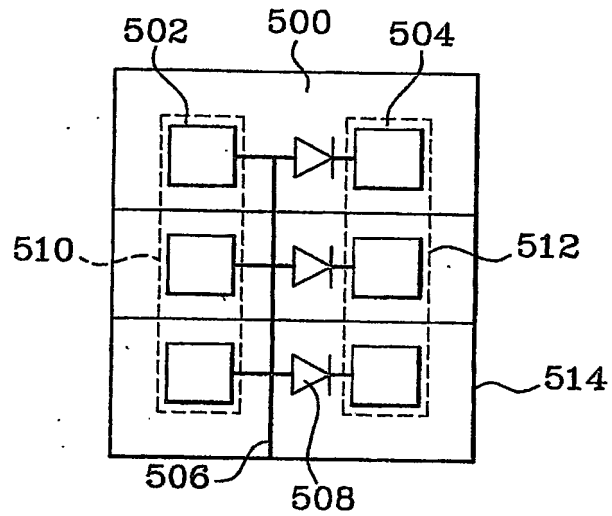


Fig. 7

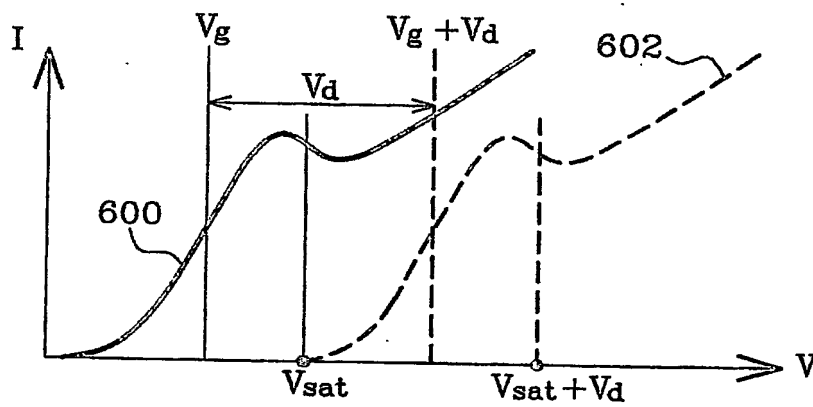


Fig. 8

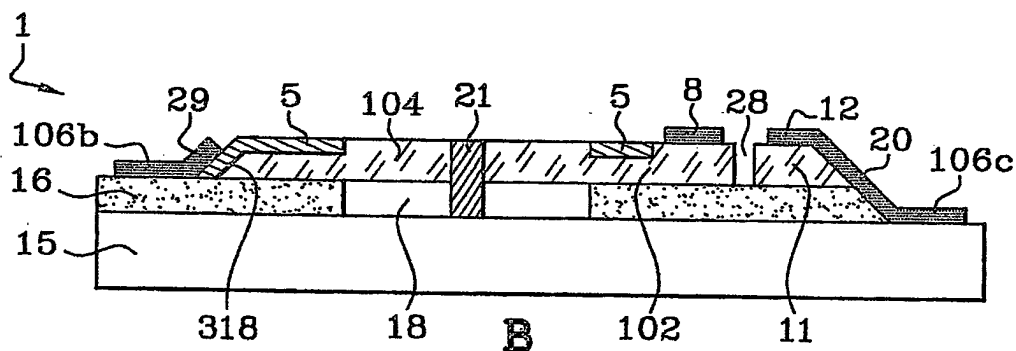
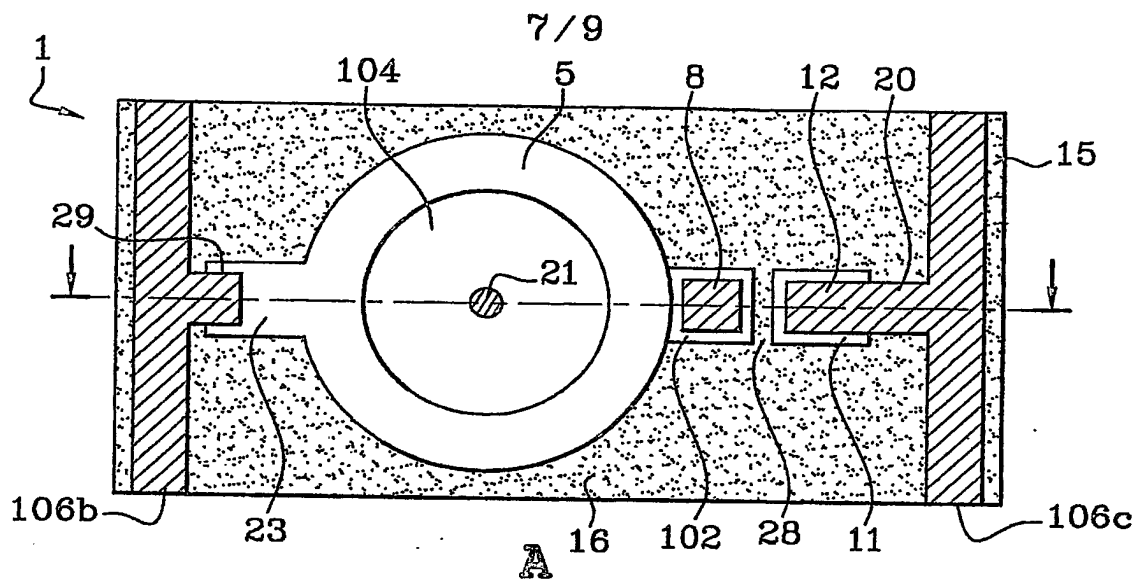


Fig. 9

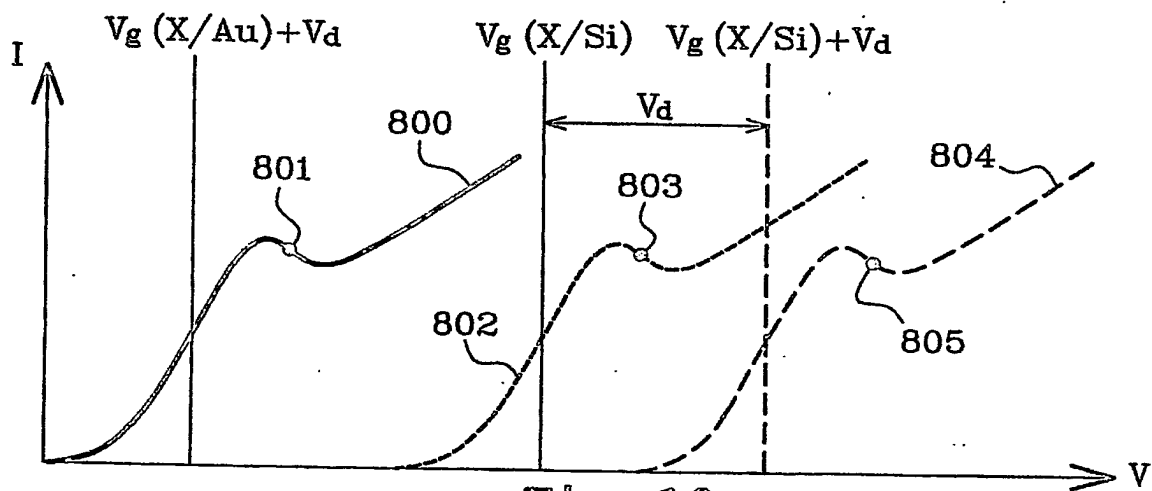
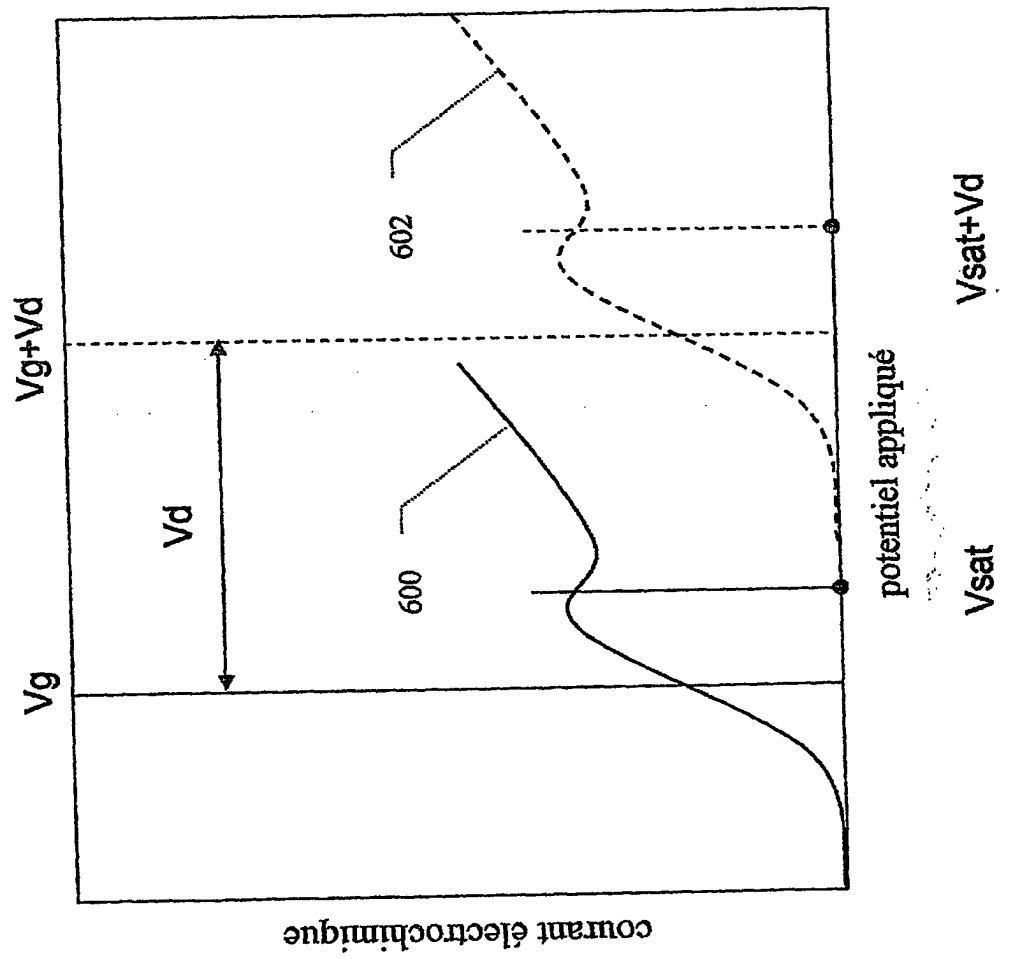


Fig. 10



Figure 8



8/9

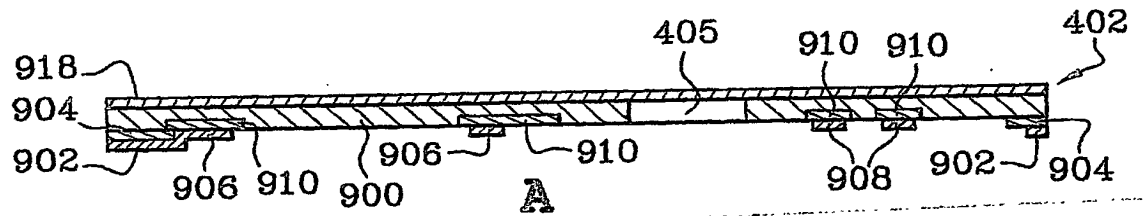
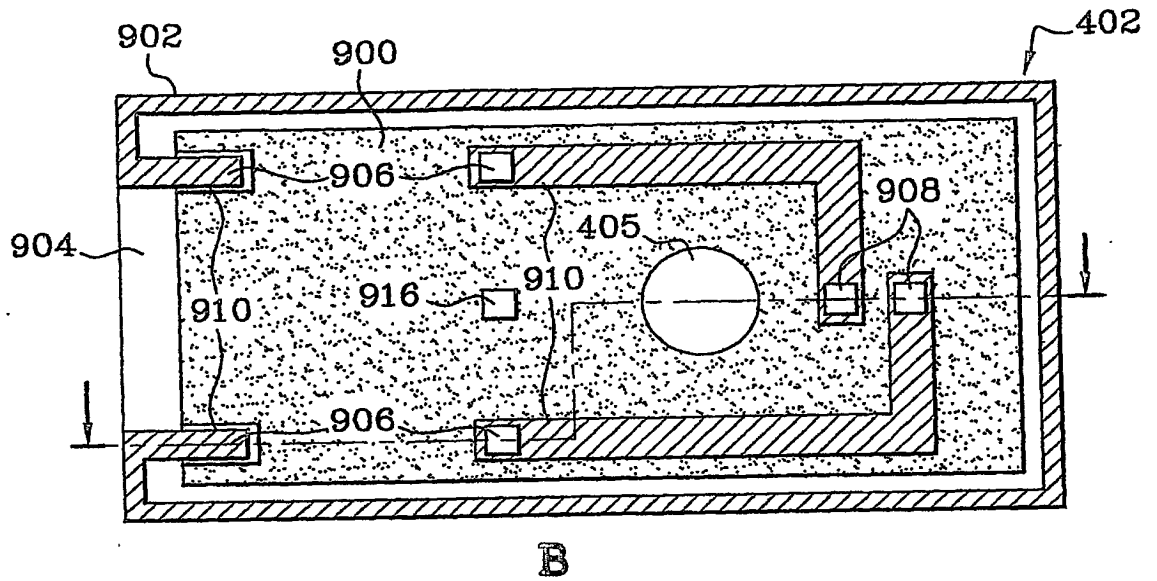


Fig. 11

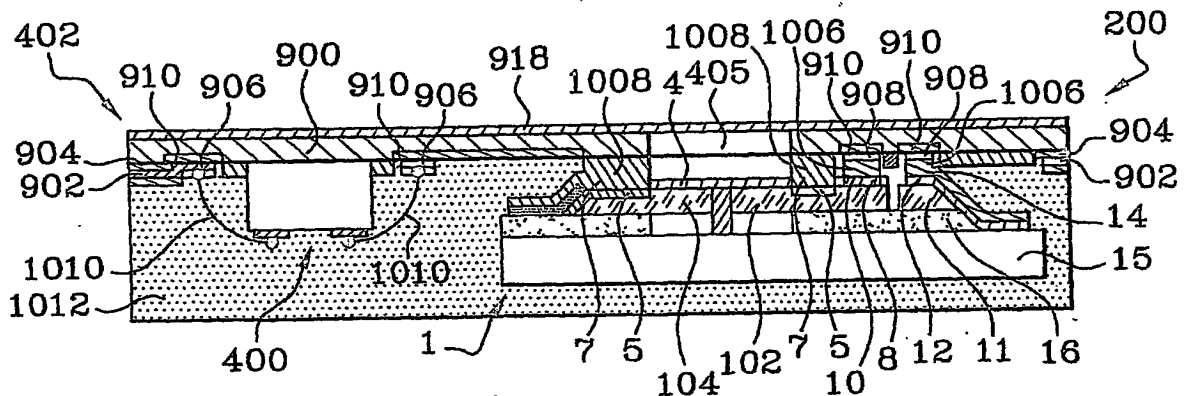
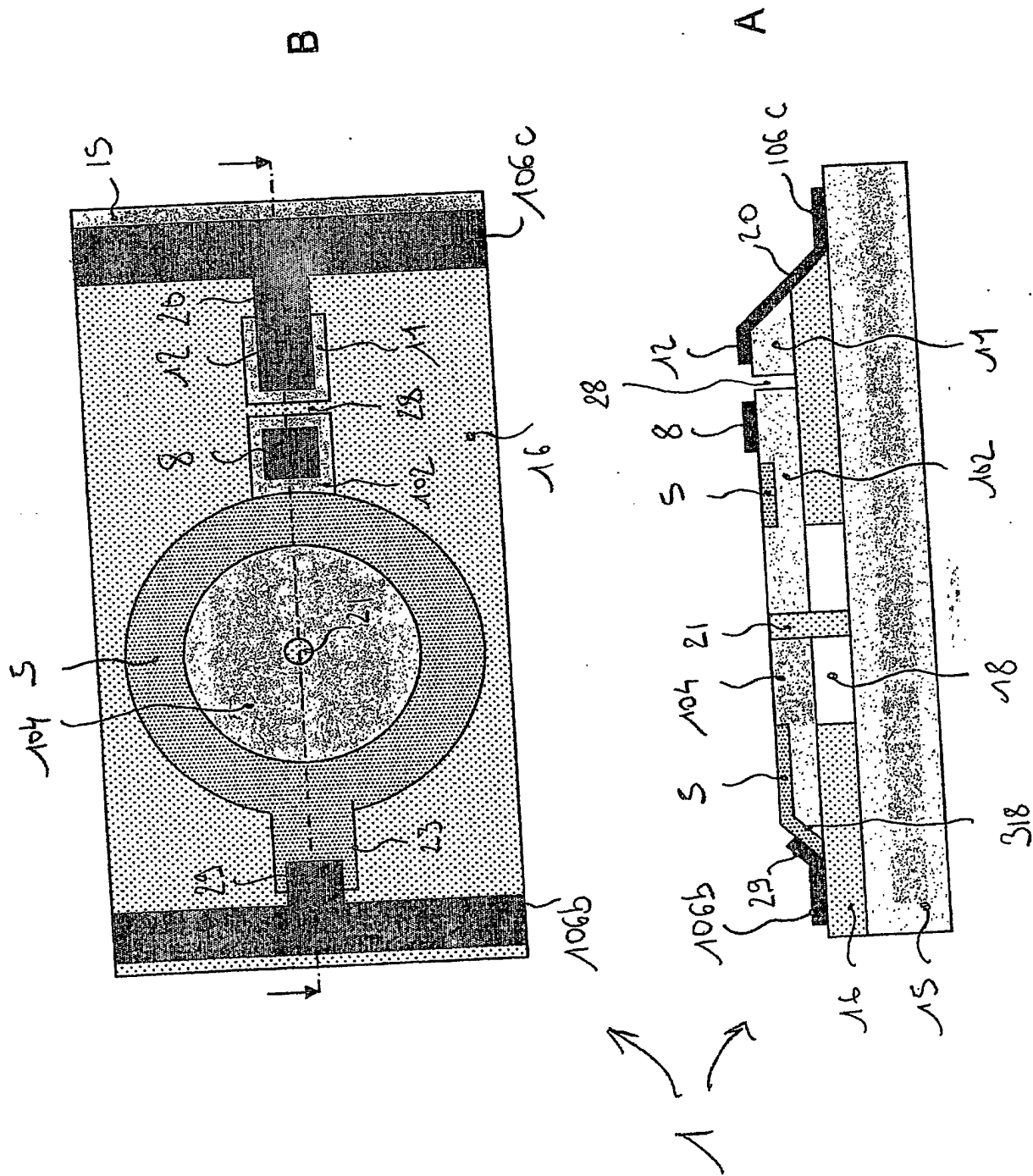
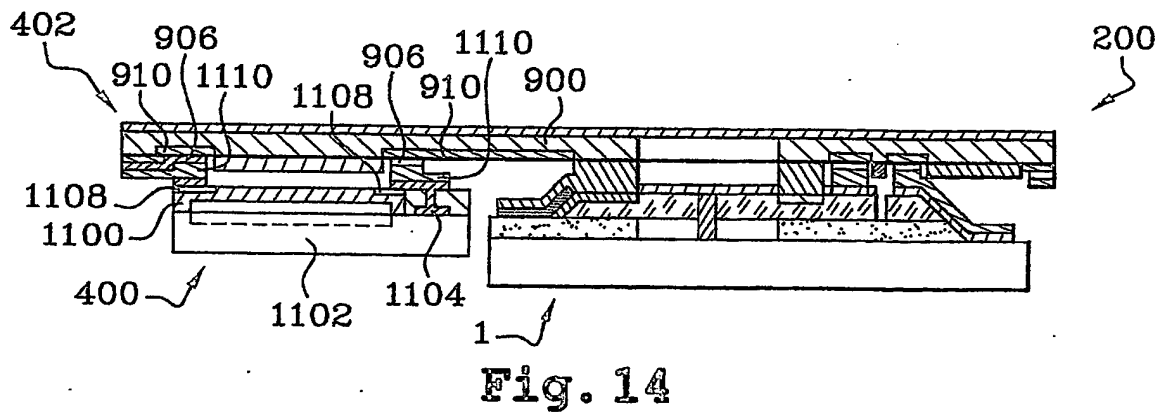
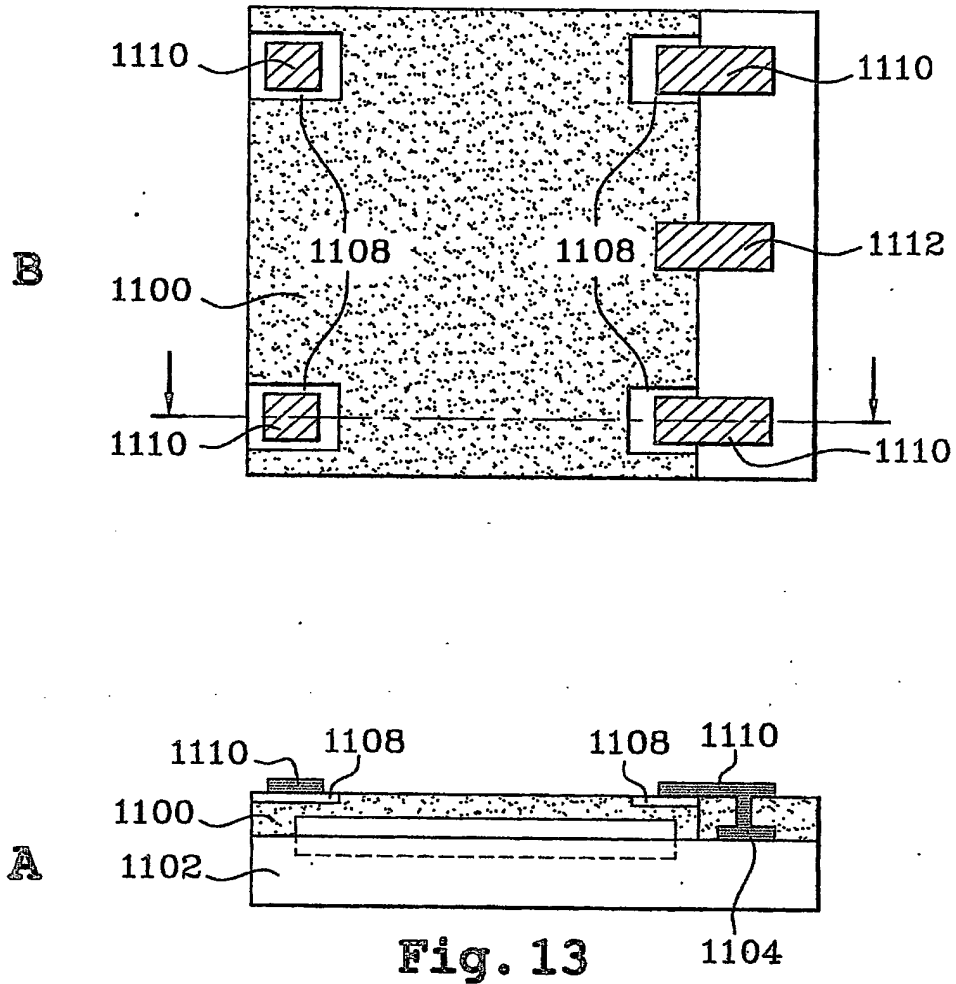


Fig. 12

Figure 9



9/9



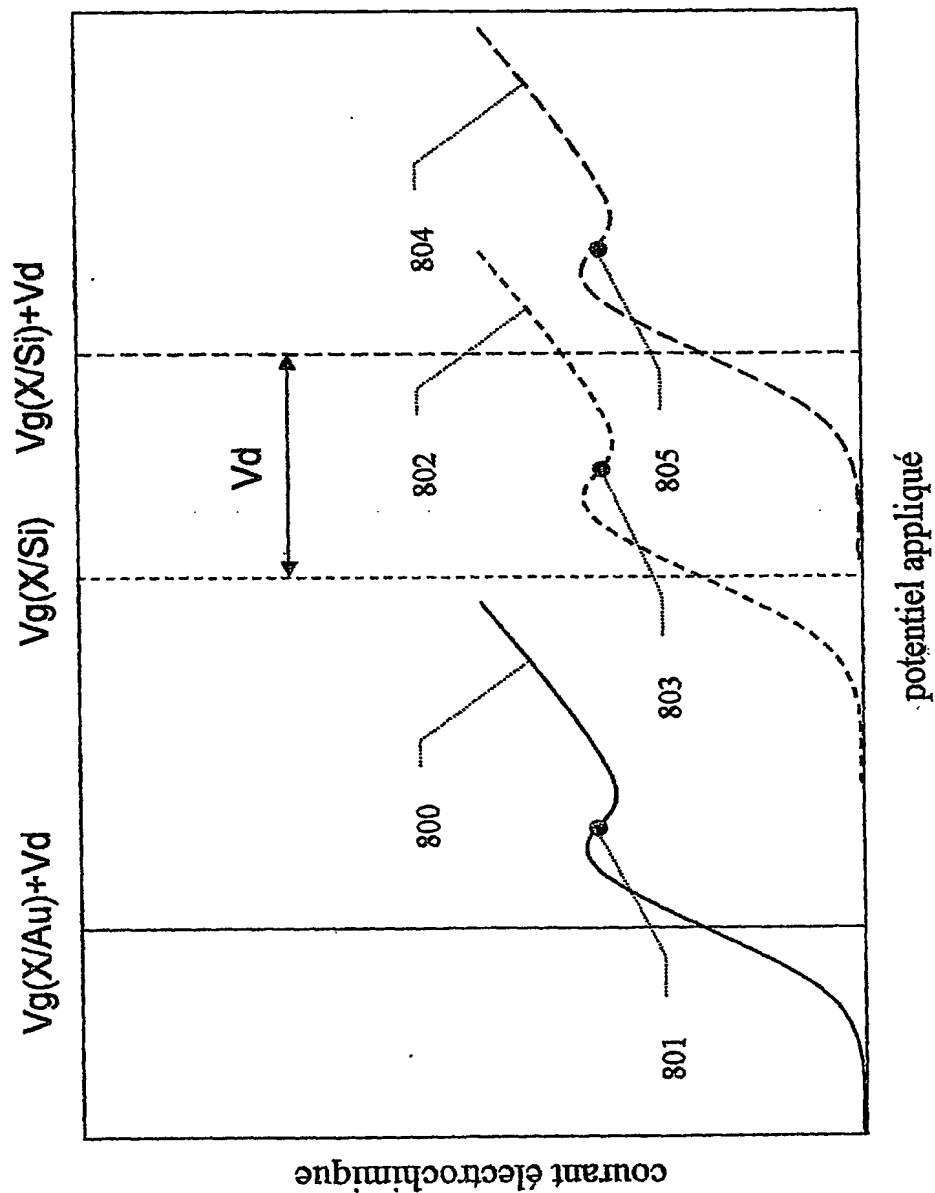


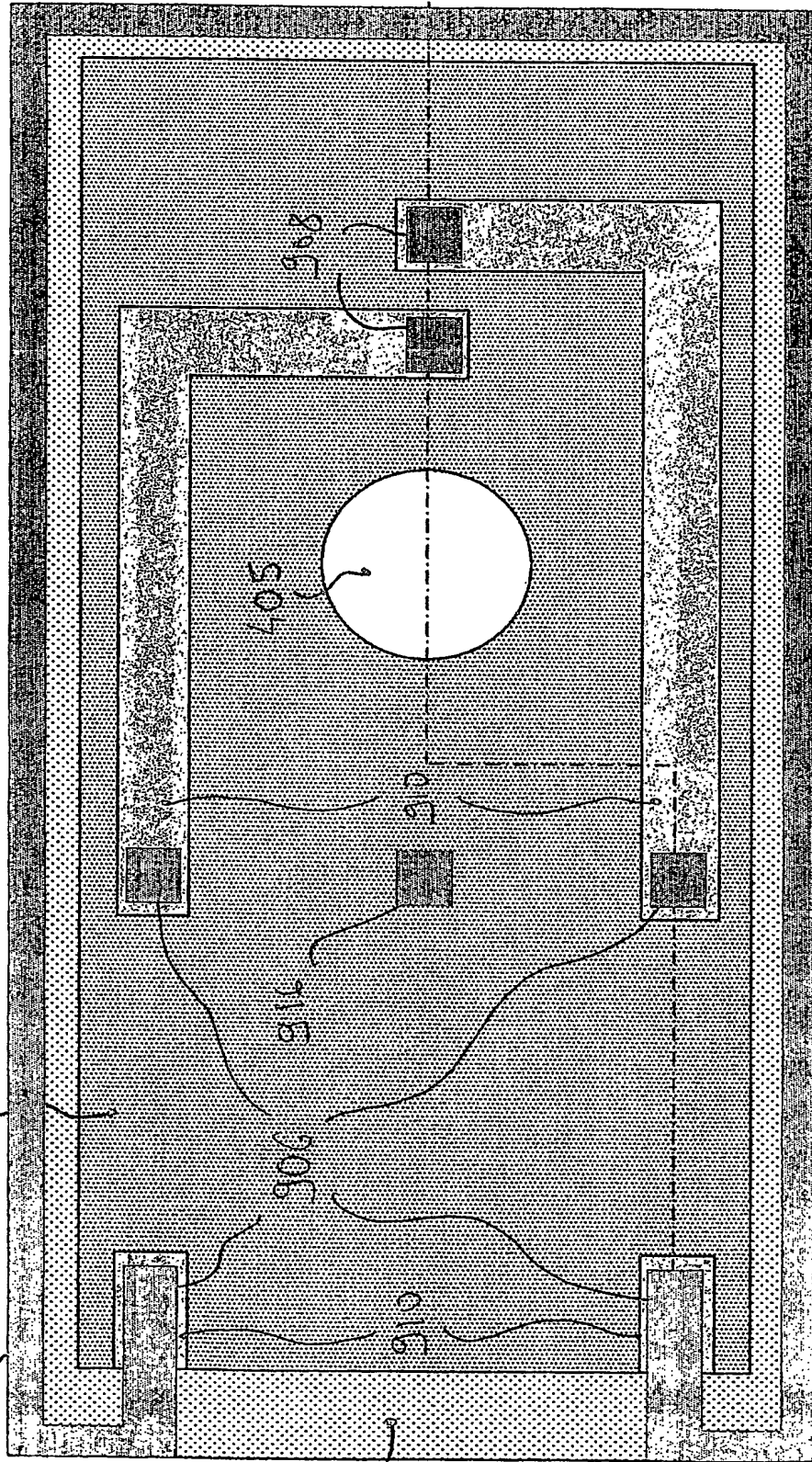
Figure 10

1114

Figure 11

402

902



B

904

906

402

918

902

904

906

908

910

912

914

916

918

920

922

924

926

928

930

932

934

936

938

940

942

944

946

948

950

952

954

956

958

960

962

964

966

968

970

972

974

976

978

980

982

984

986

988

990

992

994

996

998

1000

1002

1004

1006

1008

1010

1012

1014

1016

1018

1020

1022

1024

1026

1028

1030

1032

1034

1036

1038

1040

1042

1044

1046

1048

1050

1052

1054

1056

1058

1060

1062

1064

1066

1068

1070

1072

1074

1076

1078

1080

1082

1084

1086

1088

1090

1092

1094

1096

1098

1100

1102

1104

1106

1108

1110

1112

1114

1116

1118

1120

1122

1124

1126

1128

1130

1132

1134

1136

1138

1140

1142

1144

1146

1148

1150

1152

1154

1156

1158

1160

1162

1164

1166

1168

1170

1172

1174

1176

1178

1180

1182

1184

1186

1188

1190

1192

1194

1196

1198

1200

1202

1204

1206

1208

1210

1212

1214

1216

1218

1220

1222

1224

1226

1228

1230

1232

1234

1236

1238

1240

1242

1244

1246

1248

1250

1252

1254

1256

1258

1260

1262

1264

1266

1268

1270

1272

1274

1276

1278

1280

1282

1284

1286

1288

1290

1292

1294

1296

1298

1300

1302

1304

1306

1308

1310

1312

1314

1316

1318

1320

1322

1324

1326

1328

1330

1332

1334

1336

1338

1340

1342

1344

1346

1348

1350

1352

1354

1356

1358

1360

1362

1364

1366

1368

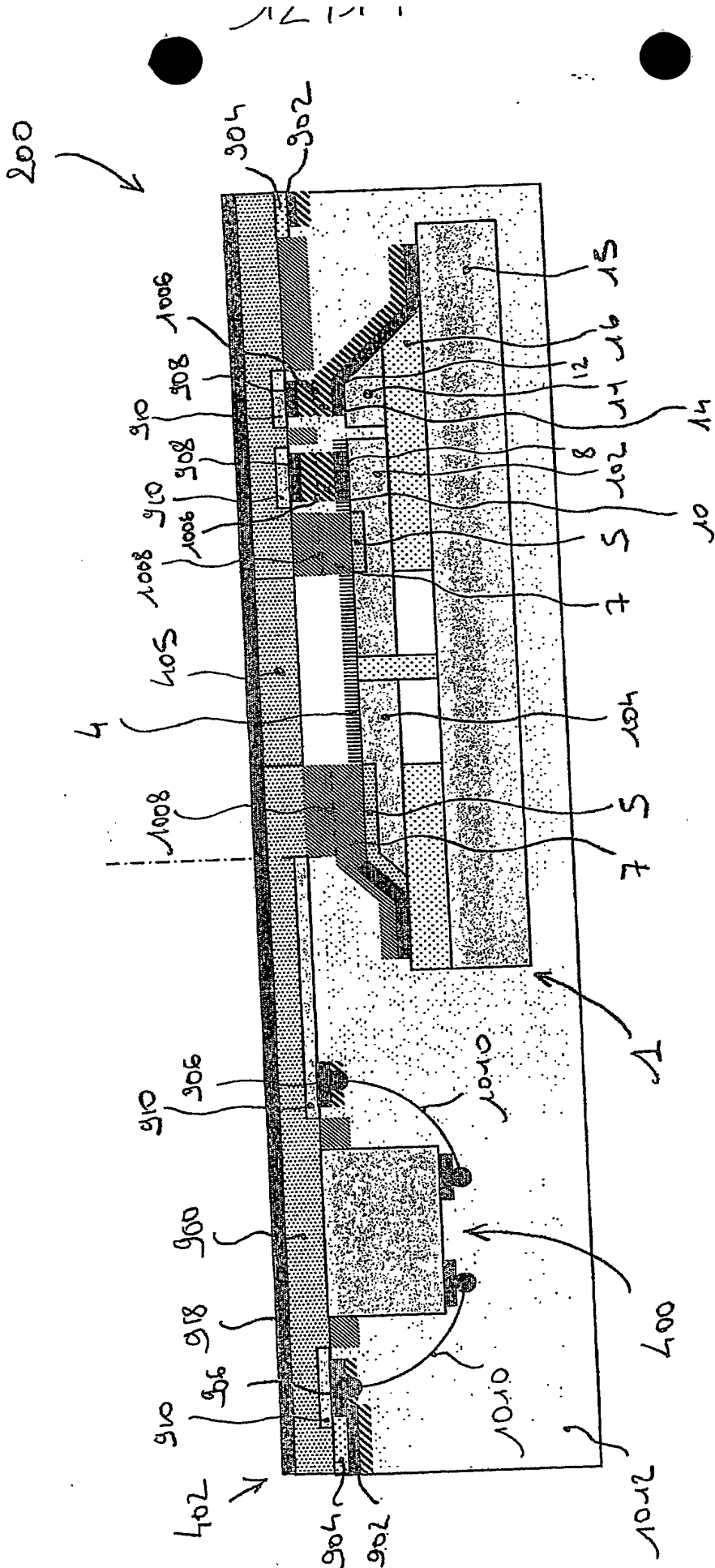
1370

1372

1374

1

Figure 12



15794

Figure 13

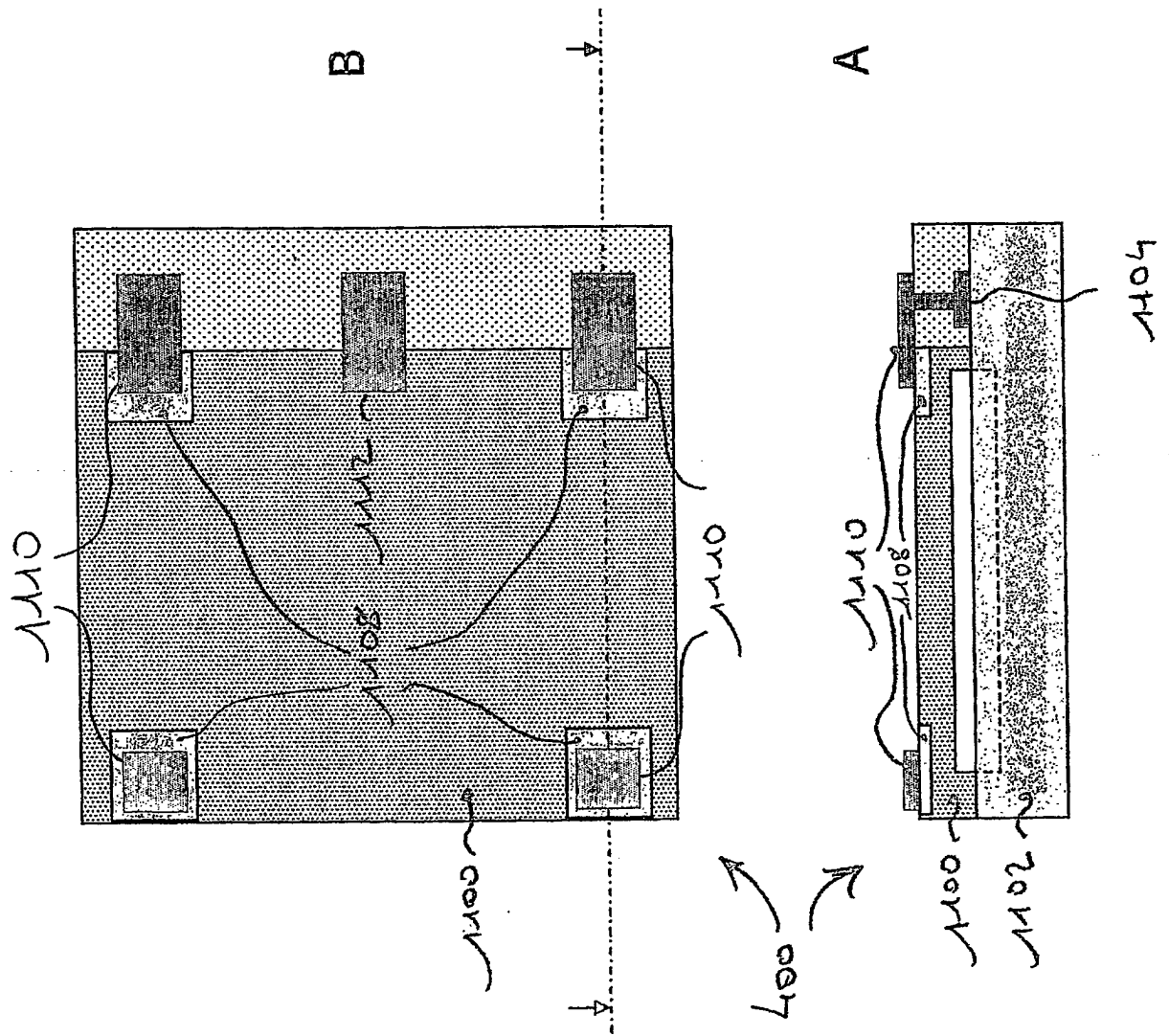
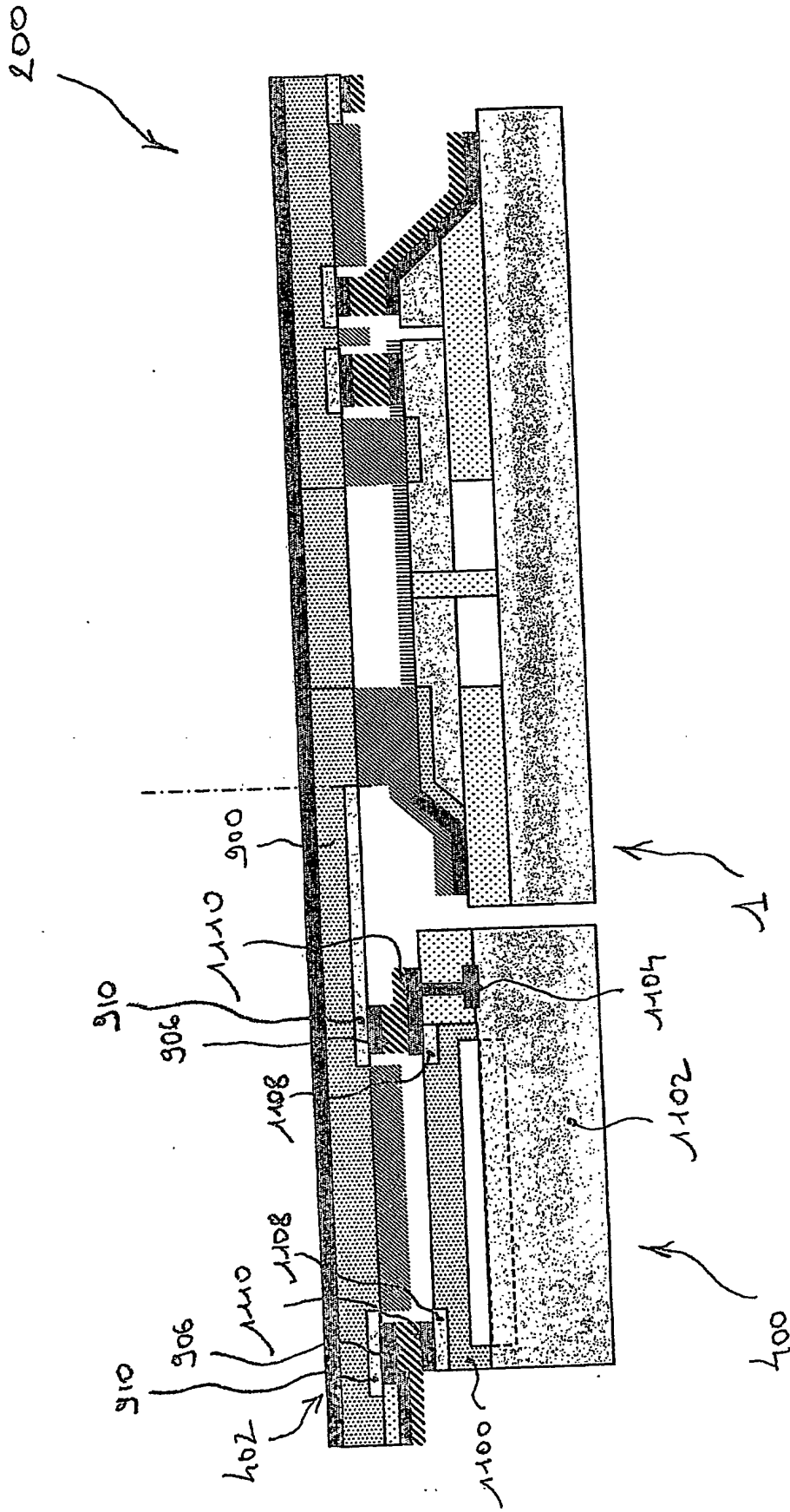




Figure 14



**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11 235\*02

## DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif)		B 14223.3 GB (BD 1453)	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0210571	
<b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum) MICROSTRUCTURE A SURFACE FONCTIONNALISEE PAR DEPOT LOCALISE D'UNE COUCHE MINCE ET PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b> COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème TRONIC'S MICROSYSTEMS 15 rue des MARTYRS 38054 GRENOBLE FRANCE			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b> (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
<b>Nom</b>		BUREAU	
<b>Prénoms</b>		Christophe	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	24 rue de la Liberté	
	<b>Code postal et ville</b>	92150	SURESNES FRANCE
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>Nom</b>		KERGUERIS	
<b>Prénoms</b>		Christophe	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	20 allée Darius Milhaud	
	<b>Code postal et ville</b>	75019	PARIS FRANCE
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>Nom</b>		PERRUCHOT	
<b>Prénoms</b>		François	
<b>Adresse</b>	<b>Rue</b>	15 rue Ernest Renan	
	<b>Code postal et ville</b>	92130	ISSY LES MOULINEAUXFRANCE
<b>Société d'appartenance</b> (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) PARIS LE 26 Août 2002 G.POULIN 422-5/002			

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**